

ЧАРЛЬЗ АББОТ

СОЛНЦЕ



THE SUN

BY

CHARLES G. ABBOT, D. Sc.
Director of the Smithsonian Astrophysical Observatory

(Revised edition)

New-York and London
D. Appleton and Company
1929

ЧАРЛЬЗ АББОТ

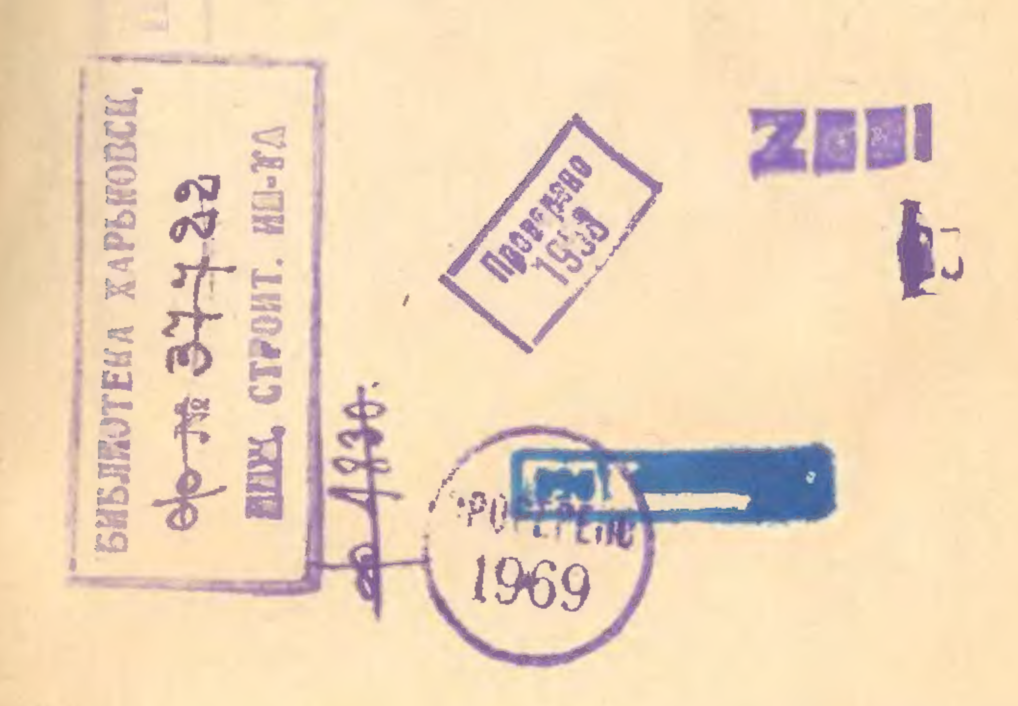
ир[illegible]ской астрофизической обсерватории

СОЛНЦЕ

Перевод с 2-го американского издания
Н. Я. БУГОСЛАВСКОЙ

Под редакцией и с дополнениями
проф. Е. Я. ПЕРЕПЕЛКИНА

С приложением
указателя литературы о солнце
на русском языке
С. А. ШОРЫГИНА



Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР
Главная редакция общетехнической литературы и номографии
Москва 1936 Ленинград

Т-65-4-4
ТКК № 55

АННОТАЦИЯ

Научно-популярная монография о Солнце, предназначенная для читателей, обладающих средним образованием, но представляющая большой интерес и для студентов, аспирантов и специалистов-астрономов и геофизиков, а также для преподавателей этих наук. Некоторый интерес книга представляет и для биологов. Автор является крупнейшим специалистом по изучению солнечной энергии. Он уделяет большое внимание вопросам измерения солнечной энергии и вопросам использования ее растениями и человеком. Кроме того, книга содержит популярное изложение современных представлений о Солнце, как о центральном теле солнечной системы и как об одной из звезд. Много места в книге уделено и описанию тех открытий, которые были произведены при наблюдениях полных солнечных затмений.

В дополнительном очерке, написанном редактором, рассматриваются различные способы регистрации солнечной активности и вопрос о ее влиянии на различные земные явления.

Указатель литературы о Солнце на русском языке, составленный С. А. Шорыгиным, содержит 51 название книг и брошюр с аннотациями и 349 названий статей, напечатанных в астрономических и общенаучных журналах за все время их существования (1892—1936 гг.).

Рисунок на переплете выполнен по фотографиям солнечной короны, снятым стандартным коронографом 19 июня 1936 г. в г. Куйбышеве (ДВК) Е. Я. Богославской и К. Н. Яхонтовым.



ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Автор этой книги, Чарльз Аббот, является крупнейшим специалистом по изучению солнечной энергии. Значительной частью наших знаний о солнечной энергии мы обязаны этому ученому и его сотрудникам.

В этой книге вопросам измерения солнечной энергии и вопросам использования солнечной энергии растениями и человеком уделено большое внимание. Подробное изложение этих вопросов таким крупным специалистом придает книге особую ценность. В этой книге читатель найдет и популярное изложение современных представлений о Солнце.

Редакция снабдила оригинальный текст Аббота, переданный переводчиком возможно точнее, рядом подстрочных примечаний, модернизирующих книгу, но не меняющих ее оригинального текста. С этой же целью в конце книги помещен дополнительный очерк, излагающий вопросы регистрации солнечной активности (службы Солнца) и влияния последней на различные земные явления. Таким образом предлагаемая вниманию читателей книга Аббота «Солнце» вместе с дополнительным очерком позволит ему разобраться в явлениях, происходящих на Солнце, и познакомит его с новейшими достижениями в изучении их влияния на Землю.

Д. Перепелкин

Пулково,
май 1935 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

В течение последних пятнадцати лет мы были свидетелями издания Роуландом большой таблицы солнечного спектра и учреждения обсерваторий Иеркской, Кодайканальской, Моунт-Вильсоновской и других, в значительной степени рассчитанных на исследования Солнца. В течение этого же срока времени были получены фотографии спектра короны и хромосферы во время полных солнечных затмений, было сделано Хэлом блестящее открытие магнитных полей в солнечных пятнах, были произведены определение времени вращения Солнца для разных его уровней и широт и болометрические исследования Ланглэя инфракрасного солнечного спектра и, наконец, в самое последнее время смитсонианские определения абсолютной яркости солнечного излучения за пределами нашей атмосферы. Большой интерес к этим исследованиям был отмечен учреждением Международного солнечного союза с его полными энтузиазма съездами, на которых участвовали виднейшие исследователи всех стран.

Настало время сделать обзор блестящего ряда новых знаний о Солнце, — знаний, полученных в результате беспримерной деятельности; настало время для рассмотрения вопроса о вероятной природе Солнца в свете новых фактов.

На последующих страницах астроном-профессионал найдет еще неопубликованные результаты исследований и новые объясняющие их гипотезы. Текст иллюстрирован многими новыми рисунками и фотографиями.

Глава II посвящена описанию инструментов и методов, применяемых при современных исследованиях Солнца; главы VII—X посвящены отношению Солнца к жизни на Земле и к звездной вселенной вообще. Таким образом книга, посвященная главным образом

Солнцу, может, я надеюсь, служить введением в изучение астрофизики для школ и колледжей, а также и для широких кругов читателей.

В главах VI—IX приведены многие факты, которые, вероятно, представят интерес для метеоролога, геолога, ботаника и инженера.

«Солнце» проф. Юнга распродано, и мы надеемся, что настоящий труд сможет до некоторой степени заменить эту книгу. Ввиду этого я позволил себе воспользоваться некоторыми из иллюстраций его книги, в особенности в главе IV, и сделать несколько выдержек из текста, преимущественно в главах IV и VI. Мне хотелось бы также высказать признательность многим лицам за сделанные ими замечания и указания и за предоставление иллюстраций.

Вашингтон,
10 июля 1911 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Между 1911 и 1928 гг. произошли большие изменения в наших взглядах на Солнце. Наиболее важными из них являются новые воззрения о внутреннем состоянии Солнца, основанные на разработке классических теорий Эддингтона и на большом прогрессе наших знаний о внутреннем строении атома.

Мнение, что вещество Солнца, кроме, может быть, лишь его центральной части, вполне газообразно и что видимая резкая граница солнечного диска объясняется оптическими и геометрическими соображениями, а не происходит от облачной фотосферы, — взгляд, которому автор уделил так много внимания и доводов в 1911 г., — в настоящее время лишь с малыми изменениями принимается как нечто само собою разумеющееся. Более старые взгляды имеют теперь лишь исторический интерес.

Много сделано для расширения наших знаний об энергии солнечного излучения. Организованы регулярные измерения не только полного излучения, но и измерения в области ультрафиолетовых лучей, которые рассматриваются теперь как фактор первостепенного

значения. Изучение измерений происходящих на Солнце, представляет большой интерес потому, что они могут влиять на наше здоровье, на погоду, на радиопередачу и на другие земные явления.

Большой успех достигнут в точном измерении длин волн солнечного спектра и в интерпретации спектральных линий. С течением времени появились новые возможности наблюдений затмений.

В настоящем издании книги «Солнце» сделана попытка включить все новое и исключить или исправить все, оказавшееся ложным, поскольку это было возможным без составления книги заново.

Ч. Аббот

Смитсонианский
институт,
Вашингтон

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ДОПОЛНЕНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ГЛАВА ВТОРАЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Солнце дает нам жизнь, тепло, свет и является источником всей механической и электрической энергии Земли. Тепло, непрерывно излучаемое Солнцем, необходимо: оно препятствует замерзанию океанов и воздуха. Запасы угля, которые мы тратим в настоящее время, являются наглядным доказательством того, что Солнце давало свет и в прежнее время. Слишком долго было бы перечислять все блага и все красоты, которые дают нам солнечные лучи, да и нет никакой необходимости в подобном перечислении: ведь все человечество признает Солнце источником всех своих благ, а часть населения даже обожествляет его. Пренебречь тщательным исследованием той единственной в своем роде связи, которую Солнце имеет со всей жизнью, вообще было бы нелепо. Однако изучение способов увеличения полезности для нас Солнца оставалось в пренебрежении, тогда как исследование наиболее загадочных особенностей самого Солнца продвинулось далеко вперед.

Чрезвычайный блеск и тепло солнечных лучей, свидетельствующие о температуре, которая ни при каких условиях не может быть достигнута на Земле; потемнение и коричневый оттенок края Солнца, особенно заметные при сравнении его с центром Солнца; неровный путь солнечных пятен через диск; различные скорости вращения поверхности Солнца на различных широтах; светлые образования, называемые факелами, сопровождающие пятна; необычайное и великолепное явление полного затмения Солнца, — все это уже давно было объектом тщательного изучения. Исследования при помощи спектроскопа, достигшие во второй половине прошлого века большого успеха, привели к более близкому и более полному знакомству с Солнцем. Так, вследствие этого мы теперь знаем многие химические элементы, из которых состоит Солнце; приближенную

температуру его поверхности; движение паров около его поверхности; приближенное давление, под которым они находятся; магнитный характер и вихревую структуру солнечных пятен; их относительно низкую температуру по сравнению с окружающими областями и многие другие не вполне достоверные детали, с трудом изучаемые на объекте, находящемся на расстоянии около полутораста миллионов километров.

Невидимой связью, обладающей большей крепостью, чем полоса стали в несколько тысяч километров в диаметре, Солнце удерживает всю движущуюся с ним семью, называемую солнечной системой, которая включает Землю и Луну, восемь других больших планет с их спутниками, до полутора тысяч астероидов, или малых планет, и, кроме того, многочисленные кометы и метеоры. Потребовалась долголетняя работа многих исключительно одаренных людей, подобных Ньютону, соединенная с вековыми накоплениями не менее ценных, хотя и менее блестящих, тщательных наблюдений для того, чтобы дать нам ту полноту знаний о расстояниях, размерах, массе и орбитах солнечной системы, которыми мы обладаем сегодня.

Хотя расстояние от Солнца до орбиты Нептуна составляет 4 500 000 000 *км*, солнечная система все же является лишь островком во всем обширном пространстве звездного мира. В 1901 г. в созвездии Персея вспыхнула новая звезда, которая в течение немногих дней превзошла своим блеском самые яркие звезды на небе, а затем постепенно угасла и перестала быть видимой. Для жителей Земли она стала видима в 1901 г., но в действительности новая звезда настолько от нас удалена, что свет ее вспышки, идущий со скоростью 300 000 *км/сек*, находился в пути со дней Кромвеля, а сама звезда уже угасла около трех веков назад. Звезды находятся от нас на столь громадных расстояниях что хотя большинство из них имеет диаметры в миллионы километров, диски их не видны даже в самые сильные телескопы, так что никакие детали их поверхности не могут быть исследованы. Тем не менее с могущественной помощью спектроскопа многое стало известным о химическом составе звезд; многие из них

оказались вращающимися системами, компоненты которых отделены друг от друга во многих случаях бо́льшими расстояниями, чем Юпитер от Солнца, и тем не менее в отдельности не различимы в телескоп. Едва ли мы смогли бы узнать многое о физических состояниях звезд, если бы спектроскоп не показал нам, что само Солнце есть ближайшая к нам звезда и что целый класс звезд, повидимому, находится в подобных же температурных условиях и что звезды этого класса состоят из тех же химических элементов, что и Солнце.

Наблюдения, проводимые с помощью телескопа и спектроскопа, показали, что солнечная система движется с большой скоростью по направлению к созвездию Геркулеса, хотя никакого изменения вида неба, ощутимого для невооруженного глаза, не заметно даже за огромный промежуток времени. Пользуясь перемещением Земли по ее орбите вокруг Солнца, составляющим 300 000 000 *км* в полугодие, оказалось возможным с большой точностью найти расстояния многих отдельных звезд и, исходя из этого, с помощью статистических методов перейти далее к оценке среднего расстояния всех звезд данной яркости. Эти разнообразные примеры указывают на то, какое первостепенное место должно занимать Солнце при исследованиях звезд; и в самом деле, изучение Солнца как типичной звезды, хотя и начатое совсем недавно, проливает все больше и больше света на вопросы о природе вселенной.

Рассматривая Солнце как источник света и тепла для Земли, ясно, что первый вопрос, который возникает сам собой, таков: как много излучаемой энергии доходит от Солнца до Земли за определенный промежуток времени? Эта прикладная ветвь исследований Солнца до сих пор оставалась в пренебрежении. Нет более наглядного доказательства такого пренебрежения, чем то, что в выдающемся руководстве по метеорологии, опубликованном около 1905 г., даются различные определения интенсивности солнечной радиации для среднего расстояния Земли, которые колеблются от 1,76 до 4,06 калорий на 1 *см*² в минуту. Из всех этих значений автор руководства предпочитает одно, которое является средним между столь различными числами, как 2,63

и 3,50, из которых первое, по его мнению, слишком мало, а второе слишком велико. Как будет указано ниже, теперь (1928 г.) нет сомнения в том, что истинная величина интенсивности солнечной радиации составляет около 1,94 *кал*. Но особенно удивительно здесь то, что эта величина, являющаяся одной из важнейших постоянных природы, была известна с такой неуверенностью вплоть до начала XX в. Вообразим для сравнения, что в одном из трудов по астрономии, опубликованном в 1905 г., расстояние Солнца (оно имеет не бо́льшее значение, чем постоянная радиации) указано заключающимся между 130 000 000 и 320 000 000 *км* и что можно предположить его равным 225 000 000 *км*.

Следующие, не менее важные вопросы, связанные со световым и тепловым действиями Солнца, таковы: является ли солнечная радиация постоянной или она изменяется? Каковы потери ее в земной атмосфере? Являются ли изменения прозрачности внешних слоев Солнца достаточными для того, чтобы изменить заметным образом приток радиации к Земле? Какое количество солнечной радиации отражается Землей неиспользованным в пространство? В какой зависимости находится температура Земли от солнечной радиации и от прозрачности воздуха? Если бы произошло изменение солнечной радиации, то какие изменения температуры должны были бы последовать в различных пунктах земной поверхности и через какой промежуток времени? Короче говоря, применимы ли результаты изучения Солнца к предсказанию погоды? Какие методы, если таковые существуют, могут быть достаточно экономичны, чтобы собирать и использовать солнечную энергию в силовых и тепловых установках? Каково влияние изменении силы и цвета солнечных лучей на рост и плодоносность различных растений? Можно ли выводить более полноценные разновидности растений путем контроля над количеством получаемой ими радиации? Как использовать целебные свойства солнечных лучей?

На последующих страницах Солнце будет рассмотрено с трех точек зрения: во-первых, как центральное тело солнечной системы; во-вторых, как объект исследо-

вания, интересный сам по себе, и еще более как ближайшая звезда, типичная для обширного класса звезд; в-третьих, как источник света и тепла, а вместе с этим и жизни на Земле. Немыслимо удовлетворительное понимание второго и третьего вопросов без ближайшего знакомства с методами и принципами, которые теперь употребляются при исследованиях Солнца. Полный перечень их для удобства читателей дан в главе II, которая, однако, имеет прямое отношение к физике и лишь косвенное к Солнцу, но является основой для глав, относящихся непосредственно к солнечным явлениям. Иллюстрированные описания некоторых инструментов, употребляемых при исследованиях Солнца, также содержатся в главе II, а соответствующие ссылки на эти описания, а также пояснения помещены в последующих главах.

Во избежание преждевременного рассмотрения спорных вопросов, различные явления, происходящие на Солнце, будут описаны без их объяснений, за исключением тех лишь случаев когда необходимо обратить внимание на какой-нибудь выдающийся факт. Теории Солнца изложены в главе VI. Отклонением от этого плана являются частые упоминания о применении зависимости между температурой, излучением и поглощением, открытой Кирхгофом.

Что же в конце концов представляет собой Солнце, и как можем мы наилучшим образом объяснить важнейшие явления, происходящие на Солнце? Оно представляет собой огромный шар более чем добела раскаленных газов, с температурой, возрастающей от поверхности к центру от 6 000 до 40 000 000 . Гигантская сила притяжения одновременно и уравновешивает и сдерживает разрывающее влияние теплоты и лучевого давления, сохраняя таким образом форму и размеры Солнца. Чрезвычайно высокая температура разрывает атомы газов так, что внутренность Солнца содержит не целые атомы или молекулы, но атомные ядра и электроны. Источником неисчерпаемой энергии солнечной радиации естественно предполагать постепенное уничтожение материи Солнца, происходящее путем соединения положительных и отрицательных электронов. На

Солнце не происходит горения *. Даже кислород и водород должны существовать врозь, а каждый атом их разорван при температуре Солнца. Но если снаружи Солнце газообразно, то чем обусловлена резкость его очертаний? Согласно теории лорда Релэя (Rayleigh) наша атмосфера и очищенная от пыли будет рассеивать свет действием самих газов. Шустер (Schuster) и Натансон (Natanson) независимо друг от друга подсчитали этот эффект, и оба нашли, что чисто газовое рассеяние света достаточно для полного объяснения ослабления прямого солнечного луча, наблюдаемого на вершине горы Вильсона; это ослабление относится к лучам, не селективно поглащаемым атмосферой. Оно составляет несколько процентов.

Газы земной атмосферы имеют плотность, достаточную для заметного рассеяния света, всего лишь до 80 *км* высоты, и если этот слой уже способен рассеять несколько процентов падающего света, то кажется вполне вероятным, что наш глаз может проникнуть самое большее на несколько тысяч километров внутрь газового тела Солнца, где при быстром возрастании плотности, вблизи поверхности, давление достигает нескольких атмосфер. Если принять эту глубину проникновения по направлению радиуса, то спрашивается, какова будет глубина проникновения близ края солнечного диска, где вышеупомянутые немногие тысячи километров располагаются по лучу зрения — почти по касательной к Солнцу. Повидимому, у края Солнца газовый слой всего лишь в несколько сотен километров толщиной оказывается вполне достаточным для того, чтобы закрыть все, что находится за ним. При наблюдениях с Земли этот слой соответствует доле секунды дуги, и таким образом газообразное Солнце на расстоянии 150 000 000 *км* и должно представляться нам резко очер-

* Под «уничтожением материи» Аббот понимает превращение вещества в энергию; вещество здесь не уничтожается, но переходит в новую вполне материальную форму. Для объяснения большого расхода энергии звезд и Солнца без заметной убыли их яркости некоторые западноевропейские ученые и предложили теорию превращения материи в энергию, однако этот взгляд разделяется далеко не всеми. *Прим. ред.*

ченченным Согласно новейшим исследованиям ионизированные газы Солнца способны путем поглощения света быстрее погасить луч света, чем путем только что рассмотренного рассеяния, в силу чего отпадают последние трудности объяснения резкости очертаний газообразного Солнца *.

Хотя мы многое уже знаем, я все же не могу не привести здесь небольшой иронический рассказ, которым Лэнглэй заканчивает свою замечательную книгу «Новая астрономия».

«Я где-то читал фантастический рассказ о племени эфемерных насекомых, которые живут всего лишь час. Для тех из них, которые рождаются рано утром, солнечный восход и есть время юности. Они умирают от старости, когда лучи Солнца понемногу набираются сил, и только их потомки доживают до полудня; между тем дальнейшие поколения, которые придут на смену видевших восход Солнца, увидят его уже заходящим. Вообразим, что Солнце близко к заходу; все племя мошек собралось под тенью гриба (для них такого же древнего, как само Солнце) послушать, что скажет их мудрейший философ о их мрачном будущем. Если я не ошибаюсь, этот философ сказал им, что, несмотря на всю невероятность этого, было время, когда мир был юн и сам гриб был молодым, и Солнце в тот ранний век было на востоке, а не на западе. С тех пор, объяснял философ, взоры наших ученых следили за его движением и установили путем индукции из своего обширного опыта великий «закон природы», гласящий, что Солнце движется только на запад; теперь оно все более и более приближается к западному горизонту, и наука пришла к заключению, что оно исчезнет навсегда вместе с великой нацией эфемер, для которой оно и было создано.

Что подумали его слушатели после этой речи, я не помню, но я слышал, что Солнце взошло на следующее утро».

* Ионизированным газом называется газ, атомы которого потеряли один или несколько электронов. — *Прим. ред.*



ТИПИЧНОЕ СОЛНЕЧНОЕ ПЯТНО ПО ЛАНГЛЭЮ

(рисунок выполнен 23—24 декабря 1873 г. на обсерватории в Аллегени).

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА. РАССТОЯНИЕ И РАЗМЕРЫ СОЛНЦА

Солнечная система. — Тяготение. — Расстояние от Солнца. — Диаметр Солнца. — Масса Солнца — Масса Земли. — Плотность Солнца.

Солнечная система

Светила, перемещающиеся среди звезд, а именно: Солнце, большие и малые планеты, спутники, метеоры и кометы *, образуют солнечную систему. Прежде думали, что все небесные тела обращаются вокруг Земли. Но в настоящее время теория Коперника полностью подтвердилась, и известно, что Земля является только планетой, гораздо меньшей по своим размерам, чем Юпитер, Сатурн, Уран или Нептун, хотя и большей, чем Марс, Венера или Меркурий, и что подобно другим планетам она обращается вокруг Солнца. За то, что Галилей настаивал на этом учении, ему угрожали пытками и, наконец, принудили отречься от этого утверждения. Мы счастливы, живя в иное время.

Луна имеет в действительности диаметр в 400 раз меньший, чем Солнце, хотя видимые размеры их почти одинаковы. Огромные расстояния, которые отделяют нас от Солнца и планет, по сравнению с теми расстояниями, на которые мы привыкли путешествовать, или даже по сравнению с расстоянием до Луны, препятствуют нам сразу уяснить себе колоссальную величину этих удаленных тел. Таблица 1 дает сводку приблизительных размеров и основных характеристик больших

* Не все кометы остаются постоянно связанными с солнечной системой, но многие входят в ее состав.

Таблица 1

Приблизительные размеры и основные характеристики больших планет солнечной системы

Название и обозначение	Видимый угловой диаметр	Средний диаметр в километрах	Масса (Земля = 1)	Плотность (Вода = 1)	Сила тяжести на поверхности (Земля = 1)
Солнце ☉ .	от 1891″ до 1956″	1 391 000	332 800	1,41	27,6
Меркурий ☿	„ 4″,7 „ 12″,9	5 000	1/22?	4,2	0,2?
Венера ♀ .	„ 9″,8 „ 64″	12 400	0,816	4,9	0,8
Земля ♁ .	—	12 756	1,000	5,52	1,0
Марс ♂ . .	от 3″,6 до 26″,0	6 800	0,1073	3,96	0,4
Церера ① .	„ 0″,25 „ 0″,69	770?	1/8000?	3?	1/260?
Юпитер ♃	„ 32″ „ 50″	139 500	316,9	1,3	2,6
Сатурн ♄ .	„ 14″ „ 20″	115 000	94,9	0,7	1,2
Уран ♅ . .	„ 3″,4 „ 4,″2	51 000	14,6	1,3	0,9
Нептун ♆ .	„ 2″,2 „ 2″,4	50 000	17,2	1,6	1,1
Плутон PL.	—	?	?	?	?
Луна ☽ . .	„ 1766″ „ 2015″	3 476	1/81,56	3,3	1/6

Название	Средний радиус орбиты в миллионах километров	Отношение афельного и перигельного расстояния	Наклон орбиты к эклиптике	Звездный период в средн. солн. сутках: обращения по орбите	Звездный период в средн. солн. сутках: вращения вокруг оси
Меркурий .	51,9	1, 176	7° 0′ 12″	$87^{д},9693$	$88^{д}$
Венера . .	108,1	1, 137	3 23 38	224,7008	?
Земля . . .	149,5	1,0342	0 0 0	365,2564	$23^{ч}\ 56^{м}\ 4^{с},09$
Марс . . .	227,7	1,2058	1 51 0	686,9505	$24^{ч}\ 37^{м}\ 22^{с},58$
Церера . .	413,8	1,1652	10 36 56	1 681,414	?
Юпитер . .	777,8	1,1013	1 18 26	4 332 580	от $9^{ч}\ 50^{м}$ до $9^{ч}\ 55$
Сатурн . .	1 425,8	1,1189	2 29 28	10 759,22	от $10^{ч}\ 14^{м}$ до $10^{ч}\ 38$ м
Уран . . .	2 869,1	1,0971	0 46 22	30 686 82	$10^{ч}\ 50^{м}$
Нептун . .	4 495,4	1,0182	1 47 02	60 181,11	$19^{ч}$?
Плутон . .			17 06 51	90 893,42	?
Луна . . .	384,393	1,1161	5 08 40	27,3217	$27^{д}\ 7^{ч}\ 43^{м}\ 11^{с},5$

планет солнечной системы. Способы определения расстояния, размеров и вращения Солнца будут описаны ниже.

Тяготение

Мы привыкли рассматривать сантиметр и метр как расстояния обычные, километр — как значительное и тысячу километров — как расстояние весьма большое, и почти невероятным может показаться существование связи между Солнцем и Нептуном, расположенным от него на расстоянии 4 500 000 000 *км*. А между тем связь между ними так сильна, что потребовалась бы прочность стального стержня 800 *км* в диаметре для того, чтобы заменить ее и не дать Нептуну улететь от Солнца. Эту связь мы называем тяготением. Каждая частица во вселенной мыслится притягивающей каждую другую частицу с силой, пропорциональной массе, т. е. количеству вещества, содержащегося в частице, и обратно пропорциональной квадрату расстояния между их центрами. Этот закон тяготения действует между всеми телами на Земле — и между самой Землей и любым из этих тел, — он несомненно сохраняет силу и среди неподвижных звезд. Вес камня — это мера тяготения между ним и Землей; достаточно чувствительными приборами можно ясно показать взаимное притяжение двух камней. Если производить взвешивание на достаточно чувствительных пружинных весах, то на вершине горы они покажут вес меньший, чем у ее подошвы, в отношении квадратов расстояний этих двух точек от центра Земли. Современные химические весы настолько чувствительны, что при взвешивании на них предметы оказываются различного веса, в зависимости от того, положены ли они рядом или один над другим. Причиной здесь и является различие расстояний взвешиваемых предметов от центра Земли в двух этих случаях.

Сила притяжения между Солнцем и Нептуном составляет приблизительно $8 \cdot 10^{16}$ *т* (т. е. восемь с шестнадцатью нулями). Нептун, очевидно, должен был бы упасть на Солнце; но движение планеты по ее орбите

совершается под прямым углом к линии, направленной от нее к Солнцу; это сохраняет их взаимное расстояние.

Законы планетных движений, носящие название законов Кеплера, таковы:

I. Орбита каждой планеты есть эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце.

II. Радиус-вектор (каждой) планеты в равные времена описывает равные площади.

III. Квадраты времен обращения планет пропорциональны кубам их средних расстояний от Солнца.

У эллиптических орбит большинства планет различие большой и малой осей незначительно, или, другими словами, их орбиты близки к окружностям. Однако это не оправдывается для орбит Меркурия, Маркса и Плутона, что и видно из табл. 1 (стр. 20).

Некоторым читателям может показаться удивительным, как Кеплер мог обладать такими сведениями о расстояниях планет от Солнца, которые дали ему возможность подтвердить третий закон, в то время когда действительные расстояния планет в километрах не были известны даже приближенно. Но Кеплеру требовалось знать лишь отношения расстояний планет, а они могли быть определены независимо от действительных расстояний с помощью метода, известного со времен Гиппарха, описание которого я цитирую из книги Юнга «Солнце».

«Прежде всего нужно заметить дату, когда планета придет в оппозицию, т. е. когда Солнце, Земля и планета образуют прямую линию, как на рис. 1, где планета и Земля обозначены через *П* и *З*. Затем, по прошествии известного числа дней, скажем ста дней, когда планета дойдет до *П'*, а Земля до *З'*, отметить элонгацию планеты от Солнца, т. е. угол *П'З'С*. Теперь, так как мы знаем период обращения и планеты и Земли, мы можем узнать угол *ПСП'*, описанный планетой в течение ста дней, и угол *ЗСЗ'*, описанный Землей. Разность *П'СЗ* часто называется синодическим углом. Мы имеем, таким образом, в треугольнике *П'СЗ'* измеренный угол в точке *З* и угол *П'СЗ'*, определенный вышеописанным способом, а отсюда обыкновенными триго-

нометрическими действиями мы можем найти отношение трех его сторон».

Итак, посредством сравнительно простых астрономических наблюдений все относительные расстояния в солнечной системе могут быть установлены с большой точностью. На абсолютное измерение какого-либо из этих расстояний, как увидим, представляет в высшей степени трудную задачу.

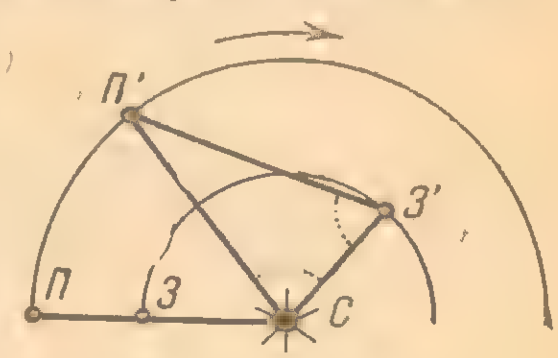


Рис. 1. Определение отношения расстояний планет.

Законы Кеплера были известны до 1620 г., но без объяснения. Исаак Ньютон около 1679 г. открыл, что все три закона являются прямым следствием законов движения, если допустить, что всякая частица притягивает другую с силой, изменяющейся обратно пропорционально квадрату расстояний. Этот последний принцип и есть закон тяготения Ньютона.

В наши дни нет людей, которые сомневались бы в справедливости системы Коперника или в существовании всемирного тяготения, а между тем не все из них обладают математическими познаниями, необходимыми для разбора всех доказательств этих основных положений. Несмотря, однако, на это, они доверяют выводам, справедливость которых единогласно подтверждается такими учеными, как Кеплер, Ньютон, Лаплас, и многими другими, едва ли менее знаменитыми, преодолевшими чрезвычайные математические трудности, с которыми сопряжено познание движений солнечной системы. Каждая планета и спутник притягивают к себе все другие и тем вносят возмущения в их движения по простым невозмущенным орбитам, что имело бы место, если бы существовало только два тела. В большой астрономической библиотеке можно найти в отдельном томе окончательное уравнение, представляющее движение, например, Луны. Такое уравнение содержит строчка за строчкой, страница за страницей тысячи членов, необходимых для учета всех возму-

шающих факторов. Лишь исключительному ученому под силу решение такой проблемы.

Проф. Э. В. Броун (E. W. Brown), писавший в 1904 г. о своих исследованиях движения Луны, говорит:

«Краткие подробности о количестве затраченного времени и труда не могут быть безынтересны. С 1890 и по 1895 г. были вычислены некоторые неравенства, но к систематической работе по плану, который заключал перевычисление всех прежде найденных неравенств, было приступлено только в начале 1896 г. Стернер (Sterner) начал для меня работу осенью 1897 г. и закончил ее весной настоящего года, хотя, конечно, никто из нас не имел возможности непрерывно отдаться вычислениям в этот период. Стернер израсходовал на них, согласно внимательно ведшейся записи, около трех тысяч часов, я же оцениваю мою долю примерно в пять-шесть тысяч часов, так что в общей сложности вычисления заняли, вероятно, восемь — девять тысяч часов. Было сделано около 13 000 умножений рядов, содержащих примерно 400 000 отдельных вычислений; полная работа потребовала написания от четырех до пяти миллионов цифр и знаков плюс и минус. И хотя работа теперь выполнена уже в значительно бóльшей своей части, все же остается еще многое сделать, прежде чем можно будет перейти к составлению таблиц».

Каждый большой научный институт или обсерватория почти ежедневно получают сообщения от лиц с посредственными знаниями, которые позволяют себе подвергать сомнению, или даже отрицать наиболее прочно установленные данные человеческого знания. Такие лица, как замечено, особенно предпочитают направлять свои атаки на следующие вопросы: система Коперника, закон всемирного тяготения, первый и второй законы об энергии и, наконец, высокая температура Солнца. Ни один аргумент не может убедить их, потому что они не обладают достаточными познаниями для понимания самих доказательств; это не является позором, но они должны были бы быть скромнее, чтобы доверять тем, кто неизмеримо их превосходит по образованию. Отсюда — стремление научных институтов совершенно

избегать дискуссий на подобные темы с такими корреспондентами.

Профессор Ньюком (Newcomb) говорит в своих «Воспоминаниях астронома» о подобном критике, который явился к нему и заявил о своем неверии в теорию тяготения Исаака Ньютона. Профессор Ньюком предложил скептику выпрыгнуть из окна и самолично убедиться в существовании тяготения. Посетитель, был вынужден ответить, что, по его мнению, тяготение простирается не далее, чем воздух, и никак не доходит до Луны. Профессор Ньюком спросил, был ли он когда-нибудь там, чтобы в этом убедиться, и когда услышал ответ: «нет», то возразил, что пока один из них не попадет на Луну и не произведет там соответствующего опыта, он сомневается, что они смогут притти к соглашению.

Расстояние от Солнца

Геометрические методы. Так как отношения расстояний между всеми главными членами солнечной системы могут быть определены с большой точностью путем обычных астрономических наблюдений, то достаточно измерить в милях или километрах расстояние от Земли до Солнца или до какой-нибудь планеты, чтобы этим установить масштаб всей системы. Большая астрономическая единица — это среднее расстояние Земли от Солнца; за последние 250 лет были произведены многочисленные его определения. До сих пор астрономы еще не вполне удовлетворены полученными результатами, хотя несомненно, что расстояние это известно нам с точностью до 0,001. Чтобы избежать большого числа цифр, вошло в обычай говорить о «параллаксе» Солнца, вместо того, чтобы говорить о расстоянии. Параллакс есть угол, под которым виден экваториальный радиус Земли, если смотреть на него из центра Солнца при среднем расстоянии от Земли. Этот угол равен приблизительно 8″, 80 дуги или в дуговой мере 0 000044. Другими словами, радиус Земли составляет 0,000044 среднего расстояния Солнца, а последнее приблизительно равно 149 500 000 *км*.

Так как солнечный параллакс очень мал, то обычные методы, служащие для определения расстояний до недоступных предметов, здесь не применимы. Радиус Земли, равный 6 378 *км*, стягивает дугу всего лишь в 8",8, и на земной поверхности нет двух таких пунктов, которые были бы видны один с другого и были бы достаточно удалены друг от друга для того, чтобы служить подходящим базисом для солнечной триангуляции. К счастью, наблюдатель может воспользоваться для такого рода исследований неподвижными звездами. Звезды можно считать находящимися на бесконечно больших расстояниях; видимое смещение объектов солнечной системы среди звезд может быть наблюдено с двух пунктов, находящихся в противоположных точках Земли или обнаружено на одной станции двумя наблюдениями разделенными промежутком времени в несколько часов. Объяснение этого параллактического метода цитируем из книги Юнга «Солнце»

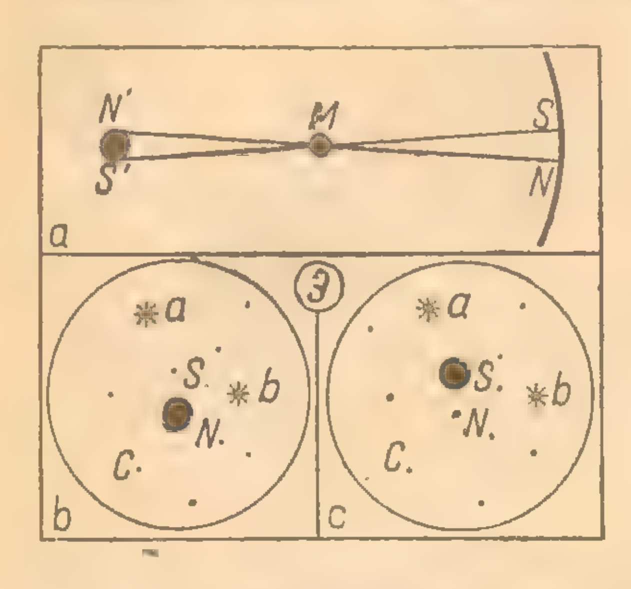


Рис. 2. Геометрический метод определения параллакса Солнца

«Рис. 2a иллюстрирует метод наблюдений. Предположим двух наблюдателей, расположенных — один близ северного полюса Земли, другой — близ южного. Смотря на планету, северный наблюдатель будет видеть ее в точке *N*, тогда как южный будет видеть ее на небе в точке *S*. Если северный наблюдатель видит ее, как на рис. 2b, то южный будет в то же самое время ее видеть, как на рис. 2c; при тщательном измерении на каждой станции видимого расстояния планеты от нескольких слабых звезд (*a*, *b*, *c*), которые видны в поле зрения, величина смещения может быть точно определена. Рис. 2 выполнен с соблюдением определенного масштаба. Кружок *З* представляет величину Земли, как она видна

с Марса, когда он ближе всего к нам, черный диск представляет видимые размеры планеты в том же самом масштабе; расстояние между точками *N* и *S* на обоих рис. 2b и 2c представляет опять-таки в том же масштабе смещение, которое произошло бы в положении планеты, если наблюдателя перенести из Вашингтона в Сант-Яго, или наоборот».

Гилл (Gill) на мысе Доброй Надежды произвел этим методом очень точные измерения. Он наблюдал противостояние Марса в 1877 г. на о. Вознесения, употребив для своих измерений гелиометр, предоставленный в его распоряжение Линдсэем. Этот инструмент представляет собой телескоп, в котором объектив разрезан пополам и имеет микрометрический винт для раздвижения обеих половин, что дает наблюдателю возможность совместить изображения двух звезд, даваемые двумя половинами. Это самое точное приспособление для визуального измерения малых угловых смещений между звездами. Гилл определял смещения Марса среди звезд из утренних и вечерних наблюдений, продолжая эту работу в течение нескольких недель. Из этих измерений он получил параллакс Солнца равным 8,"780 ± 0,"020.

Некоторые из малых планет, или астероидов, хотя и находящиеся на бо́льших расстояниях от Земли, оказались объектами более удобными для измерения, чем Марс: благодаря меньшим размерам и не такой сильной окраске, они допускают более точные измерения их проекций на фон звездного неба. В 1889 и 1890 гг. была выполнена согласованная система наблюдений над астероидами (Виктория, Ирис и Сафо) Гиллом, Элкиным (Elkin) на обсерватории Иельского колледжа и несколькими немецкими наблюдателями. Их результаты заключаются в пределах от 8,"796 до 8,"825; среднее значение их равно 8,"807 ± 0,"006.

Открытие малой планеты Эрота в 1898 г. доставило объект, еще более удобный для определения параллакса этим методом; поэтому многими ведущими обсерваториями была проведена большая работа по наблюдениям этого астероида. Несомненно, что еще более тщательные измерения будут проведены и в дальнейшем. Эрот имеет сильно эллиптическую орбиту, так

что в наименьшем расстоянии от Земли в самые благоприятные противостояния его расстояние составляет только 21 700 000 *км* и его параллакс достигает 60″, тогда как в наименее выгодной оппозиции его ближайшее расстояние составляет 120 000 000 *км* и его параллакс только 11″. В оппозиции 1900—1901 гг. его наибольшее приближение составило 48 000 000 *км*, но в 1931 г. он находился вдвое ближе. Проф. Артур Хинкс (Hinks) в Англии закончил и опубликовал редукции фотографических измерений 1900—1901 гг., выполненные Международной организацией по наблюдениям Эрота, и получил солнечный параллакс равным 8,807 ± 0,″0027.

Только что изложенный метод определения масштаба солнечной системы всеми признается как лучший из известных в настоящее время. Но существуют различные другие методы, которые заслуживают упоминания, и прежде всего, ради исторического интереса, метод прохождения Венеры. Эта планета в виде черного пятна проходит иногда между нами и диском Солнца. Прохождения происходят парами, с промежутком около восьми лет, причем пары повторяются примерно лишь через столетие. Так, в июне 1761 и 1769 гг. и в декабре 1874 и 1882 гг. прохождения наблюдались с большим вниманием астрономами различных стран. До недавнего времени прохождения Венеры рассматривались как лучший метод определения солнечного параллакса. Все примененные методы зависят, конечно, от смещения планеты на диске Солнца при наблюдениях с противоположных точек Земли.

В «Истории Королевского общества Великобритании» Вельда (Weld) можно найти различные курьезные заметки, повествующие о прохождениях Венеры в 1761 и 1769 гг. По ходатайству этого общества ему было отпущено 1800 ф. ст. для наблюдений прохождения 1761 г., и адмиралтейство распорядилось, чтобы военное судно «Морской конь» привезло наблюдателей в Бенкулен в Индии. Маскелайн (Maskelyne) был послан для наблюдений на о. Святой Елены.

Судно «Морской конь» вступило в бой с французским фрегатом почти у самых берегов Англии. Подставки инструментов были разбиты снарядами, и наблюдателей

с трудом удалось убедить возобновить путешествие. По причине этой случайной задержки они наблюдали на мысе Доброй Надежды, вместо того, чтобы ехать в Индию.

Для прохождения 1769 г. английский король по случаю юбилея Королевского общества проявил большую щедрость. Он отдал распоряжение выдать 4000 ф. ст. без обложения налогом, причем часть суммы, которая не была израсходована, предназначалась на нужды общества.

В дополнение к тому судно «Эндивор» под командой лейтенанта, впоследствии знаменитого капитана, Джемса Кука, было отправлено в Тихий океан для того, чтобы принять участие в наблюдениях. Кук удачно наблюдал прохождение в том месте, которое теперь называется мысом Венеры, на о. Таити. Королевское общество послало наблюдателей в этот раз также в Гудзонов залив и в Индию.

В 1874 и 1882 гг. были сделаны тщательные приготовления астрономами многих стран, в том числе и американскими. Наблюдения были произведены во многих местах земного шара и различными способами и аппаратами, включая гелиометры, микрометры и фотографические аппараты. Было получено несколько тысяч наблюдений.

Результаты наблюдений различных прохождений Венеры принесли полное разочарование. Обработка наблюдений 1761 и 1769 гг. была произведена Энке (Encke) в 1822 г. солнечный параллакс им найден равным 8,″5776. Новые вычисления показали, что, согласно прохождению 1769 г., можно считать параллакс заключенным между 8,″7 и 8,″9. Из прохождений 1874 и 1882 гг. различные астрономы получили весьма различные результаты — от 8,″89 и до 8,″75. Ньюком принимает 8,″794 ± 0,″022.

Гравитационные методы. До сих пор мы рассматривали только геометрические методы определения параллакса, теперь же будем говорить о так называемых гравитационных методах, которые носят совершенно иной характер и которые основываются на эффекте взаимного возмущения движений различных планет и спутников.

Один из лучших гравитационных методов связан с наблюдениями движения Луны. Изучая параллактическое неравенство Луны, Ганзен (Hansen) пришел в 1854 г к выводу о полной неприемлемости величины 8,"5776, полученной Энке для параллакса Солнца. Возмущение Солнцем лунной орбиты удлиняет промежуток времени между новолунием и первой четвертью приблизительно на 8 мин. по сравнению с промежутком между четвертой четвертью и полнолунием. Величина этого неравенства зависит от отношения радиусов орбит Луны и Земли. Отсюда мы видим, что параллакс Солнца может быть определен, если расстояние Луны известно, и если представляется возможным точно измерить это неравенство. Ньюком дает для параллакса 8,"794, считая этот результат наиболее вероятным, но новейшие исследования движения Луны проф. Э. В. Броуна (E. W. Brown) привели к величине 8,"778.

Другой гравитационный метод, предложенный Леверье, обладает преимуществом постепенно накапливающегося увеличения точности измерения. Этот метод основан на постепенных (вековых) возмущениях Землей орбит планет, особенно Венеры и малых планет, в результате которых происходит смещение линии узлов и перигелиев орбит последних. С течением времени каждое последующее перемещение складывается с предыдущим и, наконец, достигает величины, которая может быть определена с большой точностью. Леверье (Leverrier) считает нецелесообразным применение других методов для определения параллакса Солнца, так как этот метод является наилучшим. Ньюком получил методом Леверье 8,"768. Метод Леверье дает весьма благоприятные результаты в случае наблюдений Эрота. Витт (Witt) нашел, что отношение масс Луны и Земли, взятых вместе к массе Солнца, равно 1 : 328 882 ± 982. Отсюда он вычислил солнечный параллакс, равный 8,794 ± 0,"009. Бóльшую точность результата даст обработка наблюдений противостояния Эрота в 1931 г.

Следует отметить, что среднее из результатов, полученных различными гравитационными методами определения параллакса, уклоняется от результата, полученного чисто геометрическими методами с помощью

малых планет Большинство астрономов склонно приписать это меньшей точности современных гравитационных методов. Однако несомненно, что геометрический метод наблюдения малых планет имеет тенденцию давать слишком большие по величине результаты, благодаря разности атмосферной рефракции между малой планетой, например Эротом, и звездами. Малые планеты светят отраженным солнечным светом, и их свет не может быть относительно столь же богат голубыми лучами спектра, как сам солнечный свет, потому что отражающая способность почти всех твердых тел меньше для голубых лучей, чем для красных. С другой стороны, свет большинства звезд относительно богаче в голубом конце спектра, чем свет Солнца. И возможно, что в среднем звезды сравнения для Эрота случайно оказались более голубыми, чем Солнце, тогда как сам Эрот краснее Солнца. Далее, сущность метода состоит в определении кажущегося смещения Эрота с двух удаленных пунктов земной поверхности или, еще лучше, с одного пункта в утренние и вечерние часы. При этом последнем методе, когда Эрот стоит низко на востоке, высота его над горизонтом будет увеличена атмосферной рефракцией, но звезды сравнения, которые являются более голубыми, будут приподняты больше, чем Эрот. Подобное явление будет происходить на западе. Этот эффект сделает параллакс Эрота, а следовательно, и параллакс Солнца, слишком большим, независимо от того, будут ли наблюдения произведены одновременно на двух различных обсерваториях или же на одной обсерватории утром и вечером. При наблюдениях Эрота в 1931 г. этот источник ошибок был тщательно исследован.

Зависимость определения расстояния Солнца от геодезических измерений. При применении всех методов, которые были здесь вкратце описаны, параллакс Солнца определяется раньше, чем расстояние Солнца, и астрономы требуют от геодезистов знания размеров Земли, если только они хотят перейти от параллакса к действительному расстоянию Солнца. Точные определения размеров Земли требуют, с одной стороны, наблюдений с маятниками на многих пунктах для установления ее

формы, и, с другой стороны, — точных измерений с помощью триангуляции весьма длинной дуги на земной поверхности, причем последняя зависит в конечном счете от измерений базисной линии в несколько километров длиной. Базисная линия измеряется короткими жезлами или лентой, многократно укладываемыми конец к концу под микроскопом на специально нивелированных подставках; в течение всего процесса должна определяться температура жезла или ленты.

Подобные измерения базисной линии, проводимые в настоящее время, производятся с ошибкой менее одной миллионной доли их длины. Окончательный результат всей, недавно законченной сети триангуляций в США, выполненной «Береговой и геодезической службами» (Coast and Geodetic Survey), нужно полагать точным в пределах 28 *м* при общем протяжении ее около 4 800 *км*. Несколько определений размеров Земли было произведено в течение последних пятидесяти лет. Эти определения дают для среднего экваториального радиуса Земли значение 6 378 388 *км* с вероятной ошибкой менее 0,00005.

Метод, основанный на скорости света. Теперь мы перейдем к весьма важному классу наблюдений, основанных на скорости света и известных под названием «физических методов определения параллакса». С их помощью расстояние Солнца может быть найдено непосредственно. Применялись различные способы для измерения скорости света; они обычно основаны на методе зубчатого колеса Физо (Fiseau) или на методе вращающегося зеркала Фуко (Foucault). По методу Физо (рис. 3) луч света, исходящий от источника света *L*, проходит через линзу *A* и, отразившись от тонко посеребренной стеклянной пластинки *B*, собирается в фокусе линзы и проходит между зубцами колеса *F*. Далее, луч падает на линзу *C* и, пройдя значительное расстояние, собирается в фокусе линзы *D*, на зеркале *E*, которое возвращает луч обратно по его прежнему направлению, так что в конце концов он снова проходит между двумя зубцами колеса в точке *F* и часть его приходит к наблюдателю, в точку *H*. Представим себе теперь, что колесо быстро вращается. Свет будет тогда преры-

ваться каждым зубцом, проходящим через точку *F*, и будет состоять из ряда вспышек. Но благодаря устойчивости зрительного впечатления луч будет казаться непрерывным при наблюдении его из точки *H*; при этом

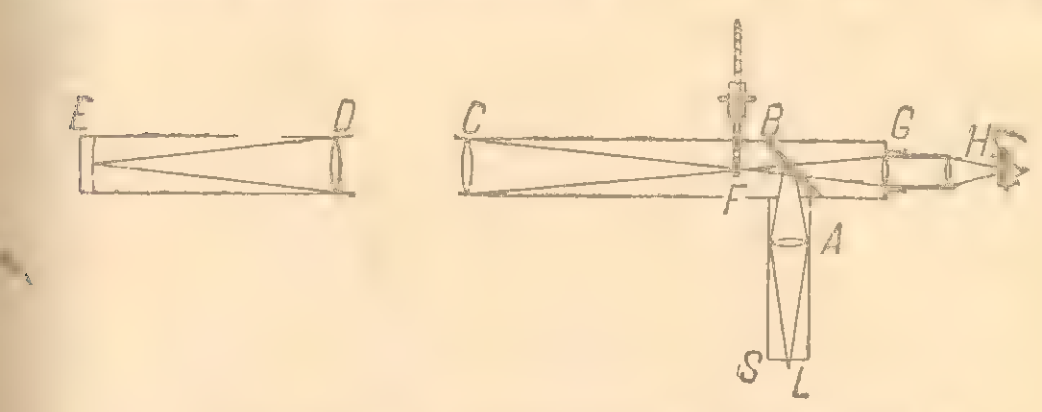


Рис. 3. Определение скорости света по методу Физо.

луч будет ослаблен, так как будет светить с перерывами. Требуется определенное время, чтобы свет прошел расстояние от точки *F* до точки *E* и обратно к *F*, за это время зубец в точке *F* продвинется и может оказаться в таком положении, что в точности закроет возвращающийся луч, так что глаз, находящийся в *H*, ничего не увидит. При постепенном увеличении скорости вращения колеса луч будет попеременно или проходить или задерживаться. Из подсчета числа этих перерывов освещения, зная число зубцов, скорость вращения колеса и расстояние *FE*, можно определить скорость света.

Метод Фуко иллюстрируется рис. 4. Свет, идущий из щели *S*, проходит через тонко посеребренную стеклянную пластинку *P*, затем проходит через линзу *A* и отражается плоским зеркалом *B* на вогнутое зеркало *C*. Радиус кривизны зеркала *C* равен *BC*, так что свет возвращается в *B* по тому самому пути, который он прошел в прямом направлении; следовательно, снова проходит через линзу *A* и потом, частично отразившись в посеребренном зеркале *P*, может быть наблюдаем из точки *O*. Если зеркало *B* медленно вращается, то свет попадает в точку *O* в виде ряда вспышек. Свет становится для глаза непрерывным, если скорость вращения возрастает; но когда скорость достигнет значительной величины,

изображение в точке сместится вследствие поворота зеркала *B* за время, которое свет проходит от *B* к *C* и обратно к *B*. По величине смещения, по скорости вращения зеркала и по расстоянию *BC* вычисляется скорость света.

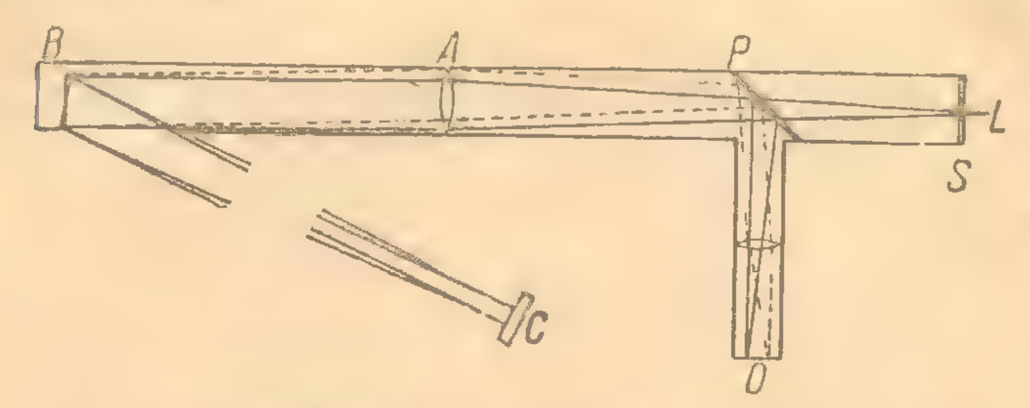


Рис. 4. Определение скорости света по методу Фуко.

Согласно электромагнитной теории света отношение между электростатической и электромагнитной системами электрических единиц также дает скорость света. Более того, электрические волны, применяемые в радиотелеграфии, распространяются со скоростью света. Ниже дается сводка лучших результатов определения скорости света.

Наблюдатель	Метод	Скорость света в пустоте в *км/сек*
Среднее из определений Майкельсона, Ньюкома и др.	Фуко	299 860
Среднее из определений Корню и Перротэна	Физо	299 890
Различные наблюдатели	волны Герца	299 130
Роза и Дорсей	Отношение единиц	299 710
Принимаемая скорость света	—	299 860

Все приведенные выше результаты превзойдены работой Майкельсона (Michelson) на горе Вильсона, которая дала 299 796 *км/сек*. Скорость света по последним данным, вероятно, точна до одной стотысячной доли.

Существуют три способа определения расстояния Солнца с помощью этой величины. Первый способ, который мы должны указать, основан на аберрации света. Хотя свет распространяется в виде волн, а не частиц, все же идею аберрации можно понять из аналогии с дождем. Если капли дождя падают вертикально и человек стоит на месте, его шляпа закрывает ему лицо. Но если человек быстро движется вперед в каком-нибудь направлении, капли бьют ему в лицо, они кажутся ему падающими не вертикально, но под некоторым к нему углом. То же происходит и со светом звезд: вследствие движения Земли по ее орбите звезды кажутся смещенными под прямым углом к направлению движения Земли; если в некоторый момент смещение происходит в одном направлении, то через 6 месяцев, когда направление годичного движения Земли противоположно, смещение будет также противоположным. Вследствие аберрации звезды вблизи полюсов эклиптики описывают маленькие кружки около 41″ диаметром, а звезды в плоскости эклиптики совершают заметное колебание по прямой линии в пределах 41″. Существует неуверенность в нескольких сотых долях секунды в определении «постоянной аберрации», как называют астрономы радиус круга аберрации. Парижская конференция, состоявшаяся в 1896 г., приняла величину постоянной аберрации 20″,47. Чандлер (Chandler), однако, из изучения всех наблюдений дал в 1903 г. величину 20″,52. Весьма продолжительные наблюдения Дулиттля (Doolittle), произведенные с помощью инструментов различных типов, заставляют нас принять величину постоянной аберрации, равную 20″,51 или даже 20″,53. Нижеследующая таблица показывает соотношение между постоянной аберрации и величиной солнечного параллакса

Постоянная аберрации	20″,46	20″,47	20″,48	20″,49	20″,50	20″,51	20″,52	20″,53
Параллакс Солнца	8″,809	8″,805	8″,801	8″,796	8″,792	8″,788	8″,783	8″,779

Другой способ определения расстояния Солнца по скорости света состоит в наблюдении спутников Юпи-

тера. Олаф Ремер (Olaf Roemer) указал на этот метод, подходя к проблеме с другого конца, — вычисляя скорость света в предположении, что расстояние Солнца известно.

Спутники проходят позади планеты и часто затмеваются. Эти затмения происходят приблизительно на 1 000 сек. позднее, когда Юпитер находится в соединении по сравнению с тем, когда он находится в противостоянии, потому что разность расстояний, проходимых светом, в этих двух случаях равна целому диаметру земной орбиты. К сожалению, затмение не является внезапным явлением, так что требуется тщательная фотометрическая работа для определения «уравнения света», — как называют промежуток времени, потребный свету для прохождения радиуса земной орбиты. Согласно выводам проф. Самсона (Samson) из многолетних наблюдений обсерватории Гарвардского колледжа уравнение света составляет 498″,64. Отсюда параллакс Солнца равен 8″,801.

Третий способ определения расстояния Солнца по скорости света основан на известном эффекте Допплера. Как тон свистка паровоза повышается при приближении поезда, так же и свет звезды становится более голубым, когда мы при движении по земной орбите приближаемся к этой звезде. Скорость Земли так мала по сравнению со скоростью света, что величина изменения может быть измерена только с помощью сильного спектроскопа специальной конструкции. Тем не менее оказывается возможным, что определение параллакса Солнца этим методом после длинного ряда сравнений превзойдет по точности другие методы. С целью определения параллакса Кюстнер (Küstner), а позднее Хальм (Halm) фотографировали спектры ярких звезд; для сравнения на той же самой пластинке фотографировался рядом спектр искры. Эти сравнения повторялись в течение нескольких лет через интервал времени около шести месяцев.

После введения необходимых поправок Кюстнер и Хальм нашли скорость движения Земли по ее орбите, а отсюда и параллакс Солнца. Полученные ими величины недалеки от величин, полученных дру-

гими методами, но еще недостаточно точны, чтобы соперничать с ними *.

Еще более обещающим кажется определение относительных скоростей планет и Земли путем одновременного фотографирования спектров Венеры и Марса или Марса и Луны в подходящее для этого время. Так, предположим, что два больших целостата (гл II(установлены рядом, чтобы одновременно отразить свет Марса и Венеры на длиннофокусное вогнутое зеркало, и пусть, далее, оба изображения, при помощи некоторых добавочных приспособлений, отбрасываются одно над другим на щель сильного спектроскопа.

Применяя вращающийся сектор, можно одно из изображений сделать по яркости равным другому изображению, и тогда оба спектра могут быть сфотографированы совершенно одновременно, и притом рядом на одной и той же пластинке. Случайные смещения, вызываемые изменением температуры спектроскопа, будут одинаковы для обоих спектров. Оба целостата должны быть употреблены поочередно для каждого из двух объектов, так чтобы, по меткому выражению проф. Тернера (Turner), «перевернуть все, что может быть перевернуто».

Из предварительных опытов, произведенных Адамсом (Adams) и пишущим эти строки на обсерватории на горе Вильсона, оказалось возможным фотографировать эти спектры в масштабе в пять раз меньшем, чем спектры, которые употреблялись Адамсом в его спектроскопическом определении скорости вращения Солнца В силу сходства планетных спектров, которые являются солнечным спектром, слегка измененным избирательным отражением, для измерения оказывается пригодным большое число линий Очевидно, что для сравнения не требуется фотографирования спектра искусственного источника света. Весьма возможно, что таким методом солнечный параллакс может быть определен с точностью примерно до 0,0005. Однако это еще не проверено

* Этим методом солнечный параллакс недавно (1928 г.) определен Спенсером Джонсом на Капской обсерватории в Южной Африке. Параллакс оказался равным 8",803 с возможной ошибкой в определении около 0",004. — *Прим. ред.*

Общая сводка. Отбрасывая значения параллакса, не обладающие достаточным весом, имеем следующие средние результаты:

Измерения малых планет гелиометром	8″,807
Наблюдения Эрота	8″,807
Гравитационные методы	8″,780
Затмения спутников Юпитера	8″,801
Методы, основанные на постоянной аберрации (при ее значении 20″,51)	8″,788

Если брать среднее из всех этих результатов, то придется геометрическим определениям и определениям, основанным на скорости света, придать двойной вес по сравнению с определениями из гравитационных методов. Исходя из этого, наивероятнейшее значение солнечного параллакса будет

8″,796.

Оно соответствует расстоянию Солнца, равному 149 560 000 *км*.

Диаметр Солнца

По измерениям на гелиометре, произведенным Шурром (Schurr) и Амбронном (Ambronn), угловой диаметр Солнца, видимый со среднего расстояния Земли, равен 1920″,0 ± 0″,03. Другие определения очень хорошо согласуются с этим. Отсюда линейный диаметр Солнца оказывается равным

1 392 000 *км*.

Пур (Poor), правда, придерживается той точки зрения, что наблюдения указывают на относительные изменения экваториального и полярного диаметров на 0″,1 в течение 11-летнего периода солнечных пятен. Согласно ему экваториальный диаметр Солнца больше при максимуме солнечных пятен, полярный же диаметр больше при минимуме их. Амбронн, однако, утверждает, что это не подтверждается наблюдениями; Мультон (Moulton) же против столь больших изменений возражает на основании теоретических соображений.

Масса Солнца

Масса солнца по отношению к массе планеты, имеющей спутника, может быть получена различными способами. Один из них, применимый к Земле, состоит в следующем: пусть M — масса Солнца, Земли и Луны, взятых вместе, и m — масса Земли и Луны; пусть R — среднее расстояние между центрами Солнца и Земли; r — среднее расстояние между центрами Земли и Луны; пусть, наконец, T — число дней в сидерическом (звездном) году и t — число дней в сидерическом месяце. Тогда по третьему закону Кеплера:

$$\frac{M}{m}=\frac{R^3}{T^2}:\frac{r^3}{t^2},$$

откуда

$$\frac{M-m}{m}=\left(\frac{R^3}{T^2}-\frac{r^3}{t^2}\right):\frac{r^3}{t^2}.$$

Масса Луны относится к массе Земли, которая известна из других данных, как 1 : 81,58. Небольшие поправки к периодам T и t, зависящие от возмущений, также известны. Вводя эти поправки, получаем отношение масс Солнца и Земли.

При параллаксе 8",796 это отношение, согласно Ньюкому, равно

332 800.

Масса Земли

Нам пришлось бы заменить астрономию физикой, если бы мы захотели итти дальше и определить массу Солнца в обычных единицах; но прежде это нужно сделать для Земли. Масса Земли определена из сравнения силы притяжения некоторого тела Землей (т. е. веса некоторого тела) с притяжением этого тела другим телом с известной массой, действующим на известном расстоянии. В XVIII в были сделаны попытки сравнения притяжения горы с притяжением Земли. Наиболее вы-

дающаяся из них произведена в 1775 г. астрономом Маскелайном на горе Шехалиен в Шотландии.

Вследствие невозможности точного определения центра тяжести и плотности горы этот метод, хотя и рекомендованный Ньютоном, имеет мало значения, представляя лишь одну из интересных попыток. Лучшим методом считается метод, называемый методом Кавендиша, хотя он был предложен Д. Митчеллом (J. Mitchell). В этом методе два небольших шарика подвешиваются к концам коромысла, которое, в свою очередь, висит на тонкой проволоке или нити. Две больших массы располагаются так, чтобы притяжением малых шаров закручивалась нить, поддерживающая коромысло. Сила притяжения измеряется кручением нити, а это последнее определяется из периода качания системы. В 1894 г. Бойс (Boys) произвел этим методом работу, представляющую большую ценность; для своей работы он изобрел кварцевую нить; без кварцевой нити были бы невозможны и многие другие из особо деликатных и интересных новейших физических работ, произведенных в иных областях.

Этот первый метод изготовления кварцевой нити был весьма любопытным. Один кусок кристалла кварца прикреплялся к концу стрелы, другой — к луку; оба куска расплавлялись в соприкосновении друг с другом в пламени паяльной трубки; когда кварц расплавлялся, лук спускался, и стрела вытягивала позади себя кварцевую нить, слишком тонкую для того, чтобы быть видимой. Такие нити, несмотря на их полную эластичность, имели прочность стальной нити соответствующей толщины. Для средней плотности Земли Бойс получил значение 5,527. Хэйл (Heyl) в Бюро стандартов США (U. S. Bureau of Standarts) значительно уточнил опыт. Его работа дает для плотности Земли значение в 5,5220 раз большее, чем плотность воды.

Третий метод поясняется на рис. 5; его понять легче, чем метод Кавендиша (Cavendish). Два равных шара *A* и *B* подвешаны к равноплечему коромыслу *E*; два больших одинаковых шара помещаются в положениях *C* и *D* или *C′* и *D′*, по желанию. В первом положении, вследствие их притяжения, *A* начинает перетягивать; во вто-

ром положении, наоборот. Итак, основными требованиями являются здесь простое взвешивание *B* по отношению к *A* и, обратно, с помощью рейтера на плече коромысла *E* и, кроме того, знание масс шаров *C* и *D* и их расстояний от *A* и *B*. Таким способом Рихарц (Richarz) и Кригар-Менцель (Krigar-Menzel) получили для

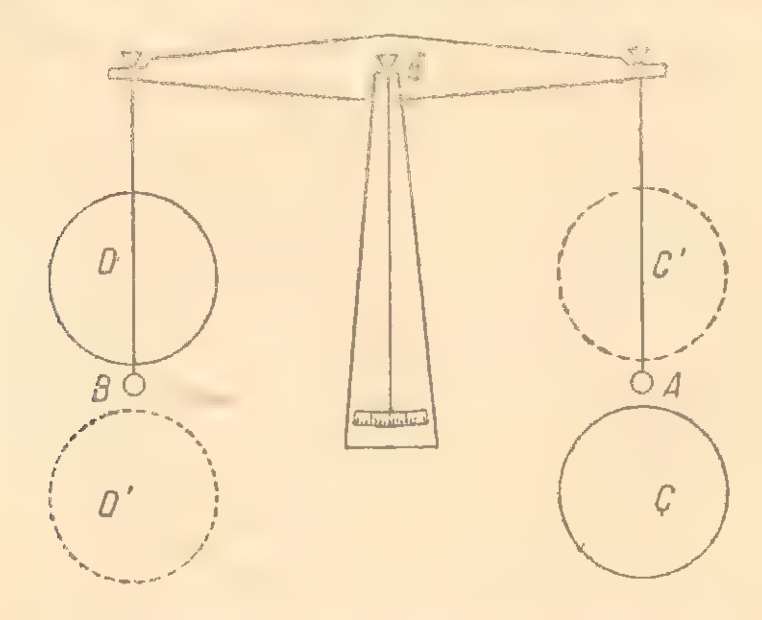


Рис. 5. Определение постоянной тяготения.

плотности Земли 5,505. Бёргес (Burgess) рассмотрел различные определения и дал как наиболее вероятное значение плотности Земли 5,5247 ± 0,0013. Соответственно этому постоянная тяготения (см. начало настоящей главы) получается равной:

$$666{,}07 \cdot 10^{-10} \frac{см^3}{г \cdot сек^2} \text{(т. е. дин).}$$

Отсюда масса Земли равна 5,984 · 10^{24} *кг*, масса Солнца 1,990 · 10^{30} *кг*, т. е. 2 с тридцатью нулями.

Плотность Солнца

Так как объем Солнца в 1 306 000 раз больше объема Земли, то его плотность составляет всего 0,255 плотности Земли и равна 1,41 по отношению к воде. Чрезвычайно интересные и важные следствия вытекают из та-

кой плотности Солнца. Несмотря на то, что плотность Солнца столь мала, мы знаем по его спектру, что на нем имеются многие тяжелые металлы и другие химические элементы, найденные на Земле, и предполагаем, что там существует немного элементов или соединений, которые в жидком или в твердом состоянии имеют меньшую плотность, чем вода. Вода и другие обычные жидкости не могут существовать на Солнце даже в виде пара — вследствие высокой температуры. В силу указанных фактов вероятно, что Солнце в большей своей части газообразно. Благодаря колоссальной массе Солнца сила притяжения на его поверхности в 27,6 раза больше, чем на поверхности Земли. Так что тело, которое здесь весит 100 *кг*, там будет весить около 3 *т*. Следовательно, газы внутри Солнца должны быть чудовищно сжаты и по внешнему виду они, вероятно, похожи на жидкости, обладая тем не менее характерным свойством газа безгранично расширяться.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ СОЛНЦА

Телескоп. — Целостат — Спектр и спектральный анализ. — Спектроскоп. — Спектрогелиограф. — Спектрогелиоскоп Хэла. — Гелиомикрометр — Компаратор — Природа излучения. — Законы излучения — Спектры различных источников света. — Пиргелиометрия. — Болометрия.

Долгое время телескоп и глаз наблюдателя были главными средствами исследования Солнца, но в последнее полустолетие был применен ряд других, менее обычных инструментов и физических принципов, которые нуждаются в некоторых пояснениях

Телескоп

Прежде всего нужно сказать несколько слов о методах применения телескопа. Солнце слишком ярко для того, чтобы на него можно было в течение некоторого промежутка времени смотреть незащищенным глазом, а тем более для того, чтобы смотреть на него в телескоп без всяких приспособлений, ослабляющих его яркость. Говорят, что бельгийский физик Плато (Plateau), смотревший сосредоточенно на Солнце в течение 20 секунд с целью дальнейшего изучения отпечатков Солнца в глазу, впоследствии потерял зрение безвозвратно.

Для того чтобы получить общее грубое представление о виде Солнца, часто употребляется экран, подобный изображенному на рис. 6. Расстояние экрана от окуляра зависит от желаемых размеров изображения и от увеличения окуляра. Выдвигая и вдвигая окуляр в передвижной трубке, достигнем резкости изображения. Рекомендуется на передний конец трубы надевать

экран, как изображено на рисунке, чтобы защититься от прямого солнечного света.

Наблюдение тонких деталей на Солнце не может быть произведено на экране; однако существует несколько способов предохранения глаза при прямых телескопических наблюдениях. Этого можно достичь, уменьшив

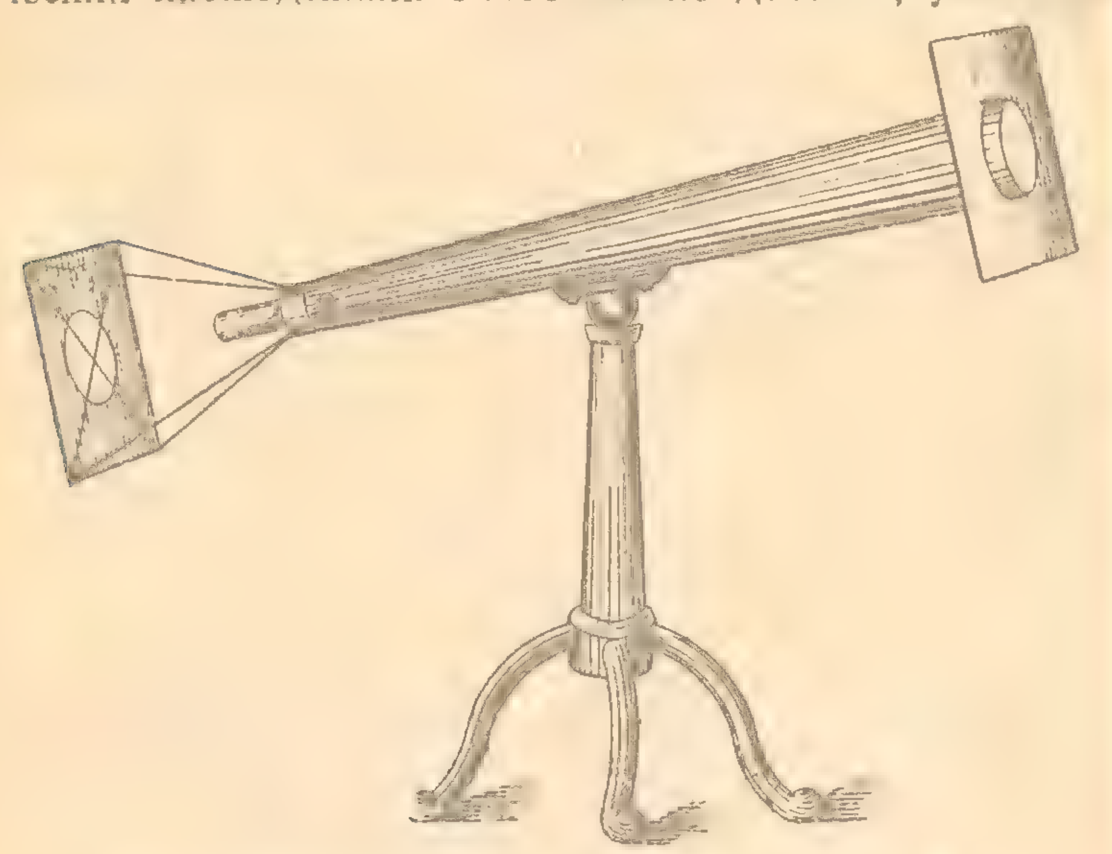


Рис 6. Проектирование изображения Солнца на экран

отверстие объектива соответствующей диафрагмой и поместив перед окуляром темное стекло. Однако качество изображений сильно страдает, если диафрагма мала и темное стекло не вполне совершенно. Для визуальных наблюдений Солнца с отражательным телескопом, если его зеркало не посеребрено, требуется лишь одно темное стекло; с другой стороны, если объективные линзы рефрактора слегка посеребрить, они отразят часть света обратно. Но в обоих этих случаях телескоп становится непригодным для других наблюдений. Имеется несколько специальных солнечных окуляров. На рис. 7 изображен окуляр Джона Гершеля (John Herschel). Свет, вошедший в *O*, встречает первую поверх-

ность стеклянной призмы, поставленной под углом 45 Более 90% света проходит через призму и выходит через открытый конец трубы, отраженный же свет попадает в окуляр AB Темное стекло при этом все-таки необходимо, но отнюдь не слишком густое. Удобнее употреблять длинный тонкий клин из темного стекла, дополненный соответствующим клином из обыкновенного стекла (рис. 8).

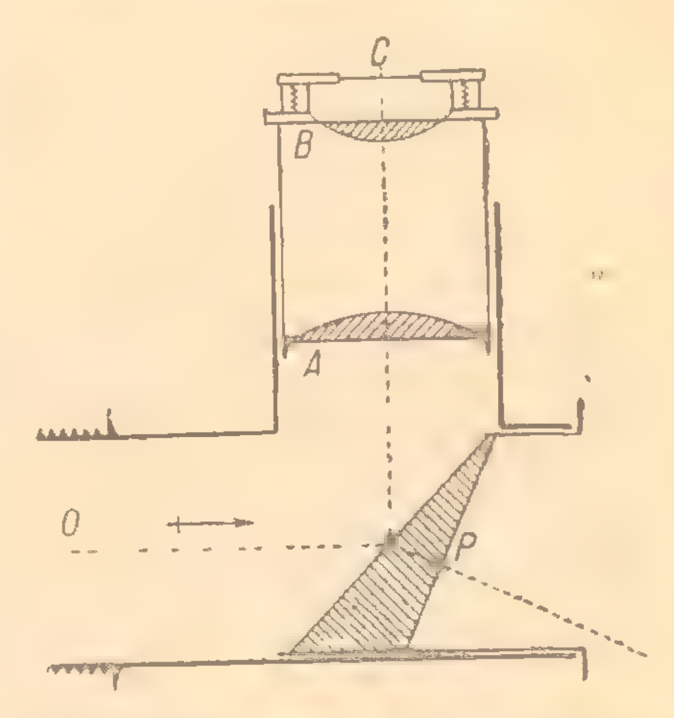
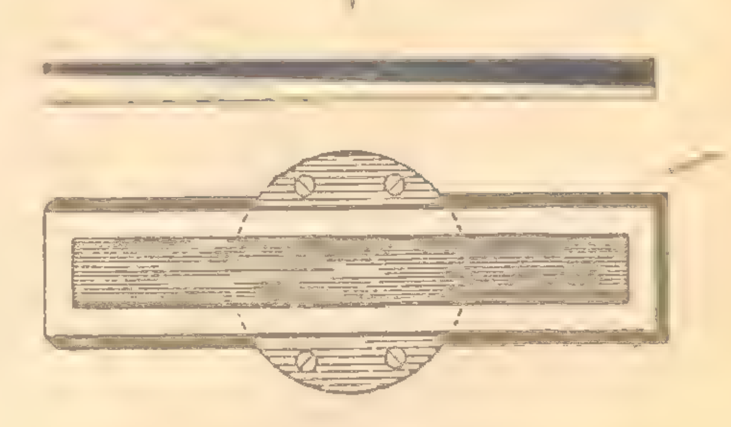


Рис 7 Солнечный окуляр Гершеля.


Рис. 8. Затемняющий клин.

С помощью такого приспособления изображение получается не искаженным, не окрашенным и оно может быть доведено в точности до желаемой степени яркости. Поляризационные окуляры, общий вид которых изображен на рис. 9, более удобны, но сто́ят дороже. Свет ослабляется ими во много раз при поворачивании верхней части коробки относительно нижней. Изображение получается в его естественных тонах, и притом не перевернутое и не повернутое слева направо (не зеркальное изображение). При исследовании очень малых объектов часто удобно употреблять изобретение Доуэса (Dawes), ограничивающее поле зрения с помощью маленькой диафрагмы, изготовленной из куска плотного

картона или из пластинки слоновой кости, проткнутых раскаленной иглой.

Для фотографических работ чрезвычайная яркость Солнца является скорее преимуществом, нежели помехой, потому что она позволяет наблюдателю употреблять пластинки низкой чувствительности с гораздо более мелким зерном, чем пластинки высокой чувствительности; кроме того, она позволяет сократить время экспозиции, что весьма существенно, так как становится возможным сделать полную экспозицию в продолжение случайных моментов превосходных атмосферных условий, соответствующих наивысшей оценке — «хорошая видимость». Как знают все наблюдатели Солнца, атмосферный эффект, называемый «кипением изображений», днем обычно значительно сильнее, чем ночью. Это происходит вследствие сильного нагревания поверхности почвы лучами Солнца, создающего восходящие токи воздушных масс неодинаковой плотности, струящиеся поперек луча зрения. Снимки Солнца обычно делаются с помощью щелевого затвора, работающего подобно изображенному на рис. 10. Буквой *B* обозначена задержка, которая спускается электромагнитом или рукой, причем пружина *S* быстро оттягивает пластинку со щелью *A*, которая скользит перед отверстием *O*, пропускающим лучи в камеру. Экспозиция пропорциональна ширине щели *A* и регулируется натяжением пружины. Смотря по обстоятельствам, требуются экспозиции от $^1/_{5000}$ до $^1/_{100}$ сек. Края солнечного диска

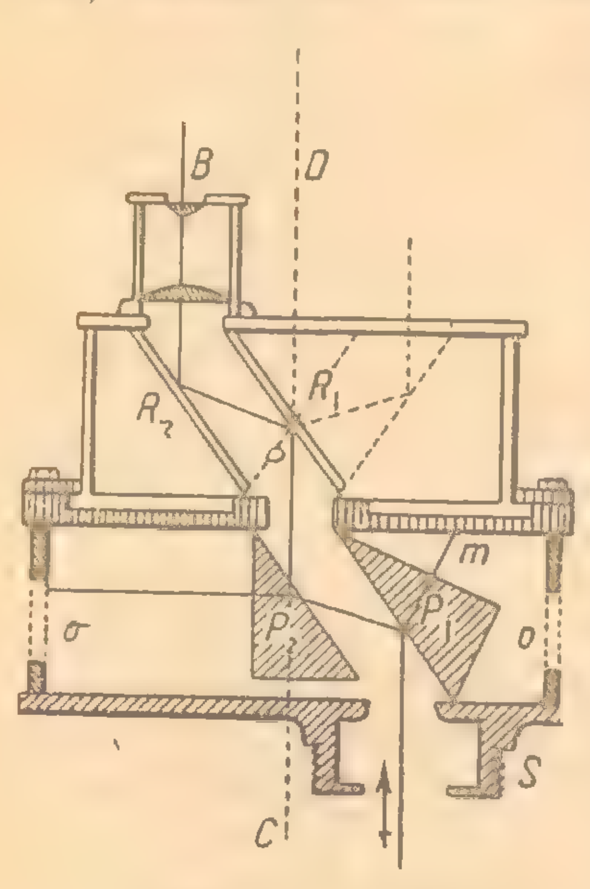


Рис. 9. Поляризационный окуляр

менее ярки по сравнению с его центром. Поэтому изображение Солнца не может быть так экспонировано, чтобы на одном снимке дать детали одинаково хорошо во всех частях изображения.

Часто желательно бывает знать ориентировку изображения Солнца. Для этой цели может быть натянута

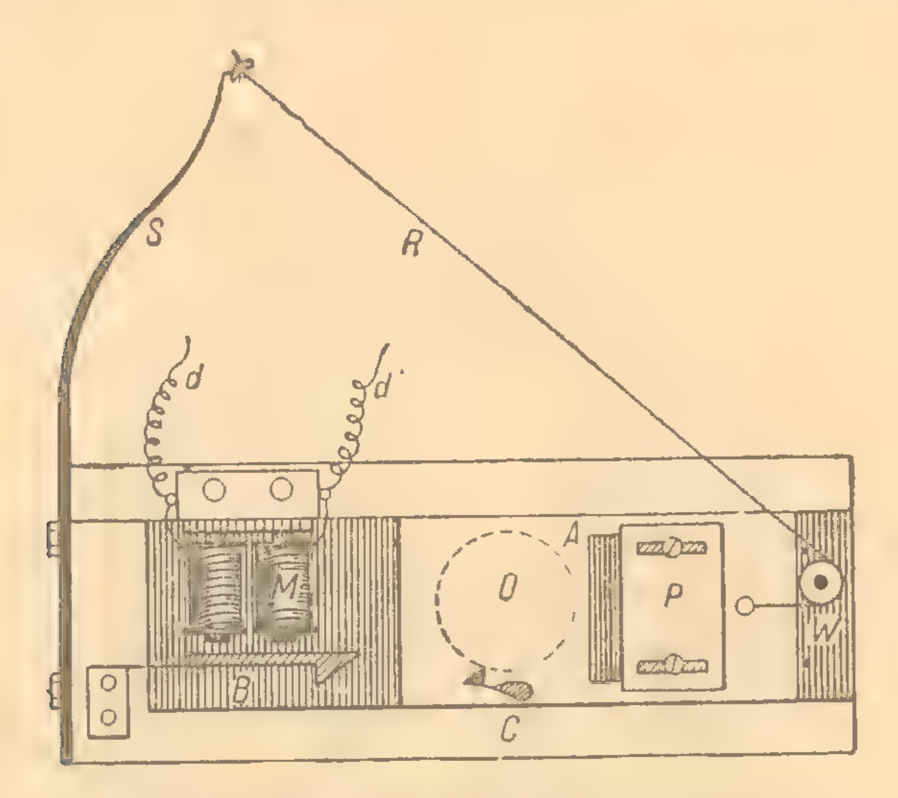


Рис. 10. Быстродействующий щелевой затвор.

вплотную к пластинке нитка или проволочка в некотором известном направлении, например в горизонтальном или параллельно суточному смещению Солнца, или вертикально, и ее тень на изображении будет служить началом отсчетов.

Иногда в некоторой оптической системе, включающей рефлектор, желательно знать, какая часть солнечного изображения соответствует его восточной или западной части на небе. Это всегда можно определить легко и верно, остановив движение телескопа и предоставляя смещаться солнечному изображению; край, или «лимб» солнечного изображения, идущий впереди, всегда соответствует западному краю, или

«лимбу» самого Солнца. Данные о положении солнечного экватора ежегодно публикуются в астрономических календарях *.

Целостат

Большинство современных аппаратов для исследования Солнца имеют сложное устройство и по необходи-



Рис. 11. 15-дюймовый целостат астрофизической обсерватории на горе Вильсона.

мости громоздки, так что их крайне неудобно передвигать. Поэтому луч солнечного света необходимо иметь неподвижным. Есть несколько типов инструментов, называемых гелиостатами или сидеростатами, для отра-

* В том числе в «Астрономическом календаре», составляемом Горьковским астрономо-геодезическим обществом и издаваемым Горьковским издательством. — *Прим. ред.*

жения света от небесных тел в постоянном направлении; но все они дают медленно вращающееся изображение небесного объекта. Это обычно является большим неудобством, и есть только один, очень простой инструмент, называемый целостатом, который дает невращающееся изображение. В своей простейшей форме целостат представляет собой простое плоское зеркало, монтированное на оси, параллельной земной оси, и вращающееся часовым механизмом со скоростью одного полного оборота в 48 час. При такой установке луч Солнца в разные времена года отражается в различных



Рис. 12. Наблюдательный павильон астрофизической обсерватории на горе Вильсона.

направленных в зависимости от того, расположено ли Солнце южнее или севернее небесного экватора. Даже в течение одного дня с этим зеркалом нельзя получить горизонтального луча света в одном заранее избранном направлении, но только в двух направлениях: на восток и на запад соответственно, — первое в утренние, а второе — в послеполуденные часы. Это ограничение удалось преодолеть введением второго плоского зерка-

ла, расположенного с южной стороны и выше уровня первого, на которое падает луч, отраженный первым зеркалом, и уже от него отбрасывается в любом желаемом направлении, но предпочтительнее на север (для северного полушария). Необходимо предусмотреть движения, взаимно перпендикулярные для одного из двух зеркал, чтобы приспосабливаться к изменению склонения Солнца в различные времена года. На рис. 11 изображен 15-дюймовый целостат Смитсонианской астрофизической обсерватории на горе Вильсона в Калифорнии. Первое, т. е. вращающееся зеркало имеет приспособления для движения по рельсам к востоку или западу, а также к северу или югу. Второе, т. е. неподвижное зеркало отражает луч света горизонтально, по направлению на север, на спектроскоп, находящийся внутри павильона (рис. 12).

Спектр и спектральный анализ

После великого открытия спектрального анализа, сделанного Кирхгофом и Бунзеном в 1859 г., спектроскоп становится все более и более незаменимым орудием для исследований Солнца, и в настоящее время бо́льшая часть знаний, добытых о Солнце, обязана именно этому прибору. Белый свет является не простым, а составным и содержит кроме всевозможных цветов, знакомых глазу, еще и другие невидимые лучи. Как будет описано ниже, свет может быть разложен на отдельные цвета обычно в виде длинной полосы с постепенной градацией этих цветов. Когда свет разложен на составляющие его цвета, то говорится, что получен спектр.

Если солнечный свет разложен в спектр, то при благоприятных условиях мы видим полосу света с постепенным переходом цветов от темнокрасного к яркокрасному, оранжевому, затем желтому, зеленому, голубому, синему и фиолетовому. Если бы наша способность видеть не была ограничена, то мы смогли бы усмотреть еще другие лучи, расположенные за фиолетовыми и впереди красных. Такие невидимые лучи можно уловить благодаря приносимому ими теплу или

фотографически. Чувствительность глаза к свету ограничена подобно тому, как ухо не в состоянии слышать звуков выше или ниже некоторого тона. Лучи, лежащие за фиолетовым концом видимого спектра, называются ультрафиолетовыми, а лучи, лежащие впереди красного конца, называются инфракрасными.

При рассматривании спектра цветная полоса спектра не является совершенно непрерывной, на ней можно заметить бесчисленное множество перерывов, или темных линий, пересекающих эту полосу поперек. Эти темные линии, по имени открывшего их ученого, носят название фраунгоферовых линий. Именно эти линии, а не красивые цвета дали нам те многочисленные сведения о Солнце и звездах, которые современникам Гершеля казались бы непостижимыми.

Причина возникновения темных линий спектра была неизвестна до тех пор, пока изыскания Кирхгофа (Kirchhoff) и Бунзена (Bunsen), около 1859 г., не показали, что эти линии по своему положению в точности соответствуют тем ярким линиям, которые образуют спектр паров металла. Так, например, если металлический натрий или одно из его соединений, хотя бы простую столовую соль, внести в пламя спиртовой лампы, то в спектре пламени появятся две яркие желтые линии, которые соответствуют по своему положению двум резким темным линиям в желтой части солнечного спектра. Далее, если свет от накаленного добела куска извести, собственный спектр которого не имеет ни ярких, ни темных линий, будет проходить сквозь пламя спиртовки, насыщенное парами натрия, то при рассматривании в спектроскоп в желтой части спектра появятся две темные линии, как и в солнечном спектре. Эти линии будут наблюдаться в той части спектра, где располагаются яркие линии спектра пламени, насыщенного парами натрия. Другие химические элементы, нагретые до парообразного состояния, также излучают яркие спектральные линии, и пары этих элементов, помещенные в лучи белого света, поглощают как раз такие лучи, которые они сами испускают. Если, однако, собственное лучеиспускание этих паров *более* интенсивно, чем то излучение, которое они поглощают из проходящего

сквозь эти пары света, то на непрерывном ярком спектре появятся еще *более яркие* линии. Если их собственное излучение *менее* интенсивно, чем поглощаемые ими лучи, окончательный спектр будет пересечен *темными* линиями. Первое явление встречается в спектре некоторых звезд, второе — в спектре Солнца. Так как интенсивность излучения пара быстро падает с уменьшением температуры, то естественно предположить, что причиной возникновения характерных для Солнца темных спектральных линий являются пары металлов, находящиеся во внешних слоях Солнца. Теряя тепло в пространство, и будучи холоднее чем внутренние слои Солнца, эти пары своим собственным излучением не могут полностью компенсировать поглощенных ими же лучей.

На рис. 13 (стр. 55) показана часть спектра звезды Проциона вместе со спектрами сравнения железа, расположенными рядом с ним — сверху и снизу. По вышеуказанным причинам звездный спектр обнаруживает многочисленные темные линии, многие из которых по своему положению и по относительной силе (или, как говорят, интенсивности) близко подходят к ярким линиям спектра железа. По причине, которая будет объяснена ниже, все зведные линии слегка сдвинуты к фиолетовому концу спектра по отношению к линиям спектра сравнения; в спектре звезды так же как и в спектре электрической искры, железо оставило свой след.

Темные линии в спектрах Солнца и звезд прежде всего показывают, какие химические элементы имеются на Солнце и на звездах. Из сравнения солнечного спектра с яркими линиями спектров чистых металлов, полученных в лаборатории, оказалось, во-первых, что почти все элементы, находящиеся на Солнце, имеются и на Земле. Во-вторых, линии солнечного спектра служат как бы указателями, позволяющими нам познать физические условия, господствующие на Солнце, как, например, изменения температуры, скоростей, давления и магнетизма.

По отношению к температуре: темная линия спектра вообще показывает, что более холодный пар нахо-

...ится перед более горячим источником, яркая линия показывает, что позади пара нет никакого более горячего источника. Более того, многие элементы дают в лаборатории большое число ярких линий, относительные интенсивности которых различны в зависимости от температуры источника. Подобная же разница интенсивности линий данного элемента, встречаемая в солнечном спектре, дает основание для оценки разности температур, как, например, разности температур солнечного пятна и фотосферы.

По отношению к скоростям: мы уже говорили об эффекте Допплера при изложении методов измерения расстояния Солнца. Он зависит от того факта, что свет распространяется волнообразно. Те волны, которые доступны глазу, имеют длину от 0,0004 *мм* (0,4 μ) ... 0007 *мм* (0,7 μ) соответственно фиолетовым и ...асным лучам. Период полного колебания волны фиолетовых лучей дается отношением ее длины ...)4 *мм*) к скорости света (300 000 000 000 *мм/сек*). ...ода следует, что 750 000 000 000 000 волн фиолето... луча испускаются солнечной поверхностью каж... секунду*. Принцип Допплера заключается в сле...ющем: если звезда приближается к Земле со ско...стью v, то в результате этого каждая длина волны ...та, получаемая Землей укорачивается на vt, где t — ...риод колебания волны. Если c — скорость света и λ — первоначальная длина волны, то $\lambda = ct$. Предположим, что наблюденная длина волны будет λ_1, тогда $\lambda_1 = (c - v)\,t$. Отсюда

$$(\lambda - \lambda_1) = vt = \frac{v}{c}\,\lambda$$

...сли линии спектра смещены по направлению к фиолетовому концу на величину, которая для фиолетового конца спектра меньше, чем для красного пропорционально длине волны, то это может служить указанием на то, что источник света приближается к Земле. Сравнивая положения спектральных линий в различных частях края солнечного диска, оказалось возможным из-

* Дополнительные замечания по этому поводу см. в гл. VII

мерить скорость вращения Солнца для всех его широт. Подобное изучение смещения линий в спектре звезд, расположенных во всех частях неба, указывает, по направлению к какой из звезд приближается солнечная система в своем пространственном движении. На рис. 13 видно, что темные звездные линии железа обнаруживают смещение к фиолетовому концу по сравнению с яркими линиями железа, и таким образом мы находим, что Процион во время наблюдения приближался к Земле. На рис. 14 изображена пара наложенных друг на друга солнечных спектров от его западного и восточного краев. Большая кислородная полоса, обозначаемая буквой B, обнимает большинство линий в этом участке спектра, и так как эти линии земные, а не солнечные, они не смещены в обоих спектрах между тем как солнечные линии обнаруживают смещение, обусловленное тем, что один край Солнца приближается к нам, а другой удаляется.

По отношению к давлению: опыты Гемфриса (Humphreys) и Молера (Mohler) в 1895 г. впервые показали, что спектральные линии различных элементов смещаются по направлению к красному концу на различную величину, если давление в той области, где находится источник света, возрастает. Обычно эти смещения, обязанные своим происхождением давлению, очень малы и подчиняются иному закону, чем смещение от скорости. Таким образом исследование солнечного спектра может дать указания на порядок давления, при котором возникли его линии поглощения.

По отношению к магнетизму впервые было показано Зееманом (Zeeman), что сильное магнитное поле может расщепить обычную одиночную спектральную линию на несколько составляющих, различающихся по характеру поляризации их света. Исследование с полярископом двойных, тройных или сильно расширенных спектральных линий может дать указания, имеется ли магнетизм на Солнце. Путем такого изучения Хэл (Hale) открыл существование магнитного поля в солнечных пятнах. В большинстве случаев линии оказываются разделенными на две составляющие, если смотреть вдоль линий сил магнитного поля, и разделенными на три



Рис. 13. Спектр Проциона и спектр сравнения железа (Адамс)



Рис. 14. Спектр восточного и западного краев солнечного диска (Сент-Джон). Участок с группой B, обусловленной кислородом, содержащимся в земной атмосфере.

составляющих, если смотреть под прямым углом к линиям сил; иногда наблюдается четыре, шесть и даже больше составляющих. В простейших случаях дублеты, наблюдаемые вдоль поля, состоят из двух поляризованных по кругу лучей, одного левополяризованного, другого — право поляризованного. Триплет, наблюдаемый поперек линий сил, состоит из трех плоскополяризованных лучей, центральный из которых занимает такое же положение, как [illegible] линия в отсутствии магнитного поля, а два боковых луча занимают те же положения, как две линии при наблюдении вдоль линии сил. Плоскость поляризации центральной составляющей расположена перпендикулярно плоскости поляризации двух боковых составляющих. Поэтому центральная составляющая может быть погашена при установке в определенном положении призмы Николя, в то время как две боковых составляющих будут погашены, а центральная станет снова видимой при повороте призмы Николя на 90°. В случае дублета, наблюдаемого продольно, оба луча могут быть преобразованы в плоскополяризованный свет введением ромба Френеля. После этого они могут гаситься попеременно поворотом призмы Николя на 90°. На рис. 1[illegible] а показана ультрафиолетовая часть искрового спектра железа, рассматриваемая поперек линий сил магнитного поля, а на рис. 15b и 15c показан эффект введения призмы Николя при двух ее положениях. По внешнему виду спектр на рис. 15b в точности такой же, как если бы он наблюдался вдоль линий сил без призмы Николя, хотя в действительности поляризация была бы иная. Большинство линий в этой области спектра правильного типа, но между ними есть одна, оставшаяся неизменной, и наоборот, целый ряд очень сложных. Есть линия, состоящая из 12 составляющих, невозможно, впрочем, что на репродукции спектра их нельзя различить.

Как былинки, которые показывают, в какую сторону дует ветер, или иероглифы, которые несут в себе историю древних времен, линии спектра вознаграждают труд исследователя многими богатыми откровениями, совершенно неожиданными и с первого взгляда недоступными изучению.



Рис. 15. Эффект Зеемана (Кинг).

больше для фиолетового, чем для красного цвета, пучок лучей, содержащий оба эти цвета, будет расщеплен призмой, и фиолетовая часть отклонится от своего первоначального направления более, чем красная. Такое действие призмы называется «преломлением»; разность в направлении входящего и выходящего лучей называется «отклонением», а разность направлений выходящих лучей различных цветов называется «дисперсией».

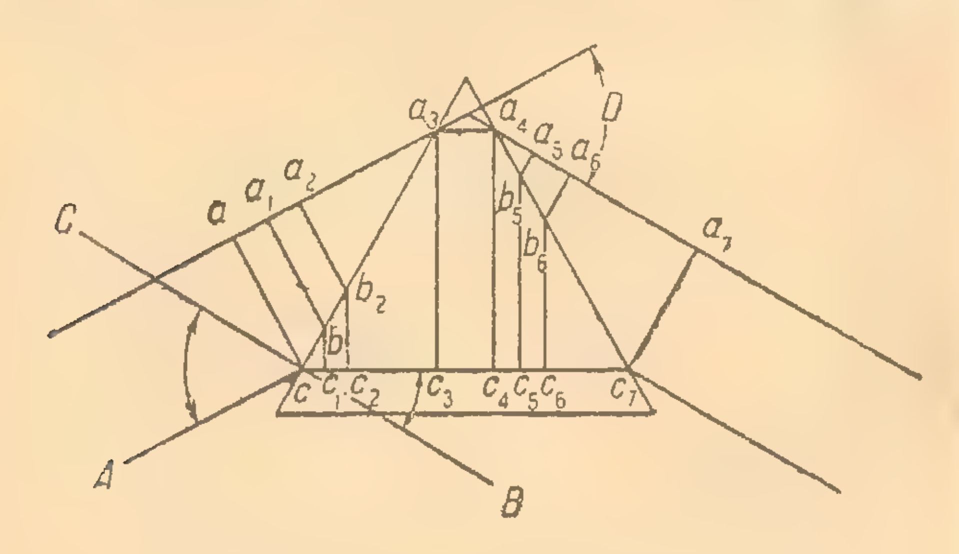


Рис. 16. Преломление света в призме.

Угол *Cca* между входящим лучом и перпендикуляром к передней плоскости призмы называется углом падения, а угол c_7cB — углом преломления. Основной закон преломления света таков: синус угла падения, деленный на синус угла преломления, есть величина постоянная для луча определенного цвета, входящего в данную среду под любым углом. Называя i — угол падения, r — угол преломления и n — постоянный показатель преломления, получим:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}.$$

Величина показателя преломления есть величина существенно необходимая для вычислений, и она еще более интересна потому, что является отношением скоростей света в двух смежных средах. Обычное флинто-

вое стекло телескопа имеет показатель преломления для желтого света по отношению к воздуху около 1,61 (табл. 2). Из только что приведенного закона математически следует, что для данной призмы и для луча данного цвета отклонение никогда не может быть ниже некоторой минимальной величины, независимо от угла падения. Этот минимальный угол называется углом наименьшего отклонения и получается тогда, когда угол падения равен углу выхода луча. Для такого положения призмы имеет место следующее соотношение: если мы обозначим углы падения и отклонения через i и D, а угол при вершине призмы через A, то

$$D = 2i - A.$$

При употреблении спектроскопов с призмами обычно желательно, чтобы лучи света, составляющие пучок, были между собой параллельны при вхождении в призму и чтобы призма была установлена на минимальное отклонение. Луч света, который появляется, когда белый свет проходит через призму, состоит из смеси параллельных пучков лучей различных цветов; пучки соседних цветов при выходе почти нечувствительно отклоняются друг от друга. Для их разделения необходимо предварительно собрать их в фокус при помощи линзы или зеркала. Если свет идет от звезды, лучи будут уже практически параллельными; но если они идут от Солнца, то они сходятся с противоположных краев солнечного диска под углом более 30′ дуги. Поэтому при работах с Солнцем, а часто также и при работах со звездами к линзе приспосабливают два других вспомогательных прибора. Первый — это узкая щель между острыми краями металлических пластин, параллельных преломляющему ребру призмы, второй — линза или зеркало, поставленные на таком расстоянии, чтобы сделать расходящийся пучок лучей, выходящий из щели, параллельным пучком. Линза или зеркало, служащие для этой последней цели, называются коллиматором, а линза или зеркало, которые фокусируют спектр, называются объективом, т. е. частью, дающей изображение. Это расположение частей показано на рис. 17.

Большинство призм растягивает фиолетовую часть спектра гораздо сильнее, чем красную, что обусловлено соответственно более быстрым изменением скорости света в стекле для фиолетового конца спектра.

Действие решетки, как устройства рассеивающего свет, зависит от явления, называемого интерференцией Свет, подобно звуку, распространяется волнообразно. Если заставить звучать камертон и медленно вращать его, держа в руке на некотором расстоянии от уха, то

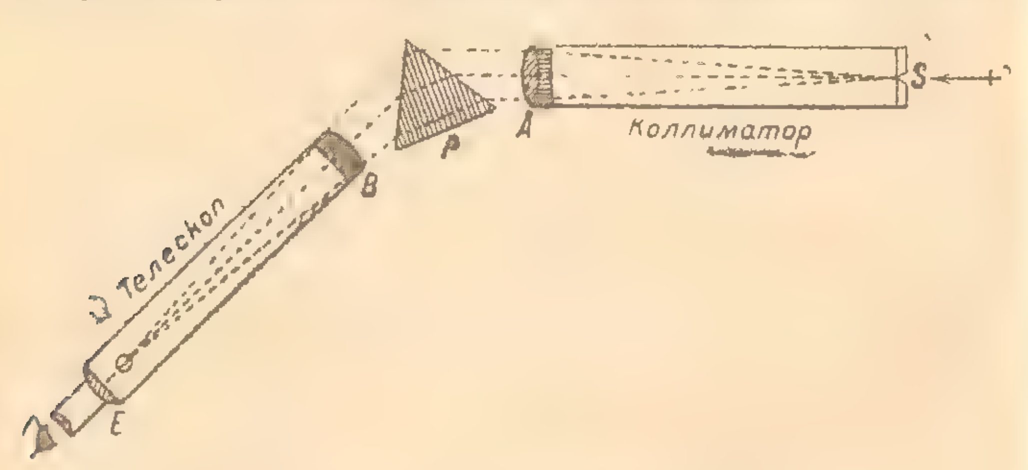


Рис. 17. Схема призменного спектроскопа

сила звука будет то возрастать, то ослабевать, хотя камертон и будет продолжать вибрировать неизменно. Положение слабого звука получается потому, что колебания воздуха, исходящие от одного конца камертона, достигают уха в фазе, противоположной колебаниям, исходящим от другого конца, так что, когда одной волне в данном месте соответствует гребень, другой — впадина. Во всех частях волн их влияние подобным же образом противоположно, и результатом, если волны равны по силе, получается отсутствие звука.

Со светом может произойти подобное же явление. Предположим, что из двух щелей a_1 и a_2 (рис. 18) одноцветные волны расходятся по всем направлениям. Тогда в точках b_1, b_2, .. можно допустить, что волны приходят в противоположных фазах и там должна получиться темнота, в то время как в точках c_1, c_2,. . будет свет. Из большого числа других щелей a_3, a_4 ,. ., расположенных в одной плоскости и равномерно распре-

деленных, направления в которых будут наблюдаться, свет и темнота будут те же. Поэтому, если кусок плоского стекла посеребрен, а покрывающее его серебро снято в виде ряда параллельных и равноотстоящих штрихов, то в пучке лучей света, проходящих через щели, часть лучей пройдет параллельно направлению *AB*, в то время как другая будет отклонена или, как говорят, будет испытывать дифракцию по различным, но определенным направлениям по обе стороны от цен-

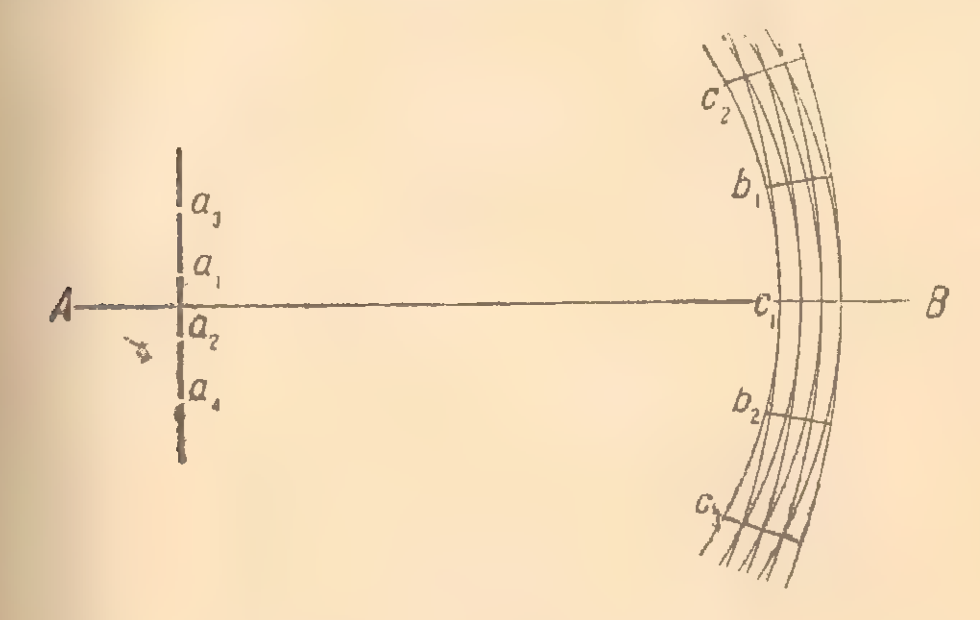


Рис. 18. Дифракция света.

трального луча. Эти направления зависят от интервалов между последовательными штрихами и от длины волны данного света. Отклонения меньше для фиолетового цвета, чем для красного, что показывает, что длина волны фиолетовых лучей меньше.

Такая решетка, которая только что упоминалась, называется прозрачной решеткой, но обычное применение отражательных решеток. На тщательно отшлифованой и отполированной поверхности зеркального металла острием алмаза прочерчиваются параллельные штрихи, чрезвычайно близкие друг к другу, иногда до 20 000 штрихов на один дюйм. При таких близких штрихах нанесенные царапины можно сравнить с грубыми бороздами, проведенными плугом, и так как эти борозды будут лишь слабо отражать, то можно принять, что

они соответствуют темным частям прозрачной решетки, в то время как гладкие промежутки между штрихами действуют как яркие источники света. Широким развитием знаний о солнечном спектре и спектрах паров в последнюю половину прошлого века мы главным образом обязаны, ныне покойному, проф. Роуланду (Rowland) из Балтиморы, потому что именно он изобрел усовершенствованный винт и тем самым смог сконструировать до сих пор непревзойденные делительные машины. Решетки Роуланда в 2 или 3 дюйма длиной, содержащие до 60 000 и еще больше штрихов, имеются почти в каждой большой лаборатории и обсерватории мира. Роу-

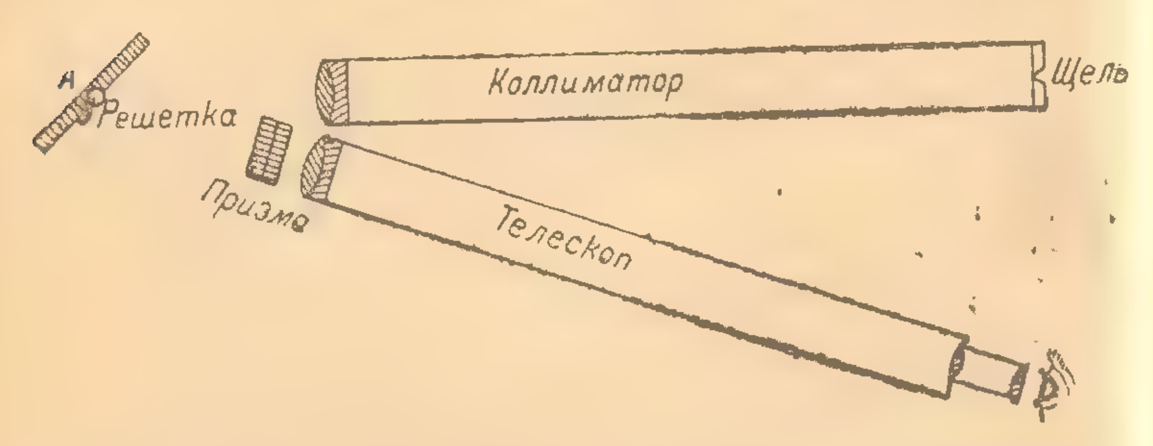


Рис. 19. Схема спектроскопа с дифракционной решеткой.

ланд не только помогал работе других, но его собственное применение решеток до такой степени развило некоторые отрасли знаний солнечной спектроскопии, что его работа все еще служит основой дальнейших успехов.

Дифракционные решетки могут быть нанесены на плоской поверхности и применяться с коллиматором и объективом как призма, но многие из них нанесены на вогнутой поверхности и употребляются, по замыслу Роуланда, без коллиматора или объектива. Таким образом мы имеем спектроскопы с плоской и вогнутой решетками. Устройство первого показано на рис. 19. Однако часто коллиматор в то же время используется как линза, дающая изображение. Спектроскоп такой конструкции называется спектроскопом Литрова. Он может быть так же применим, как призматический при-

бор, если ввести плоское зеркало, чтобы вернуть луч в призму. Необходимо слегка наклонить решетку или зеркало так, чтобы спектр получался выше или ниже щели.

На рис. 20 показано устройство спектроскопа с вогнутой решёткой. Здесь S — щель, G — решетка и I —

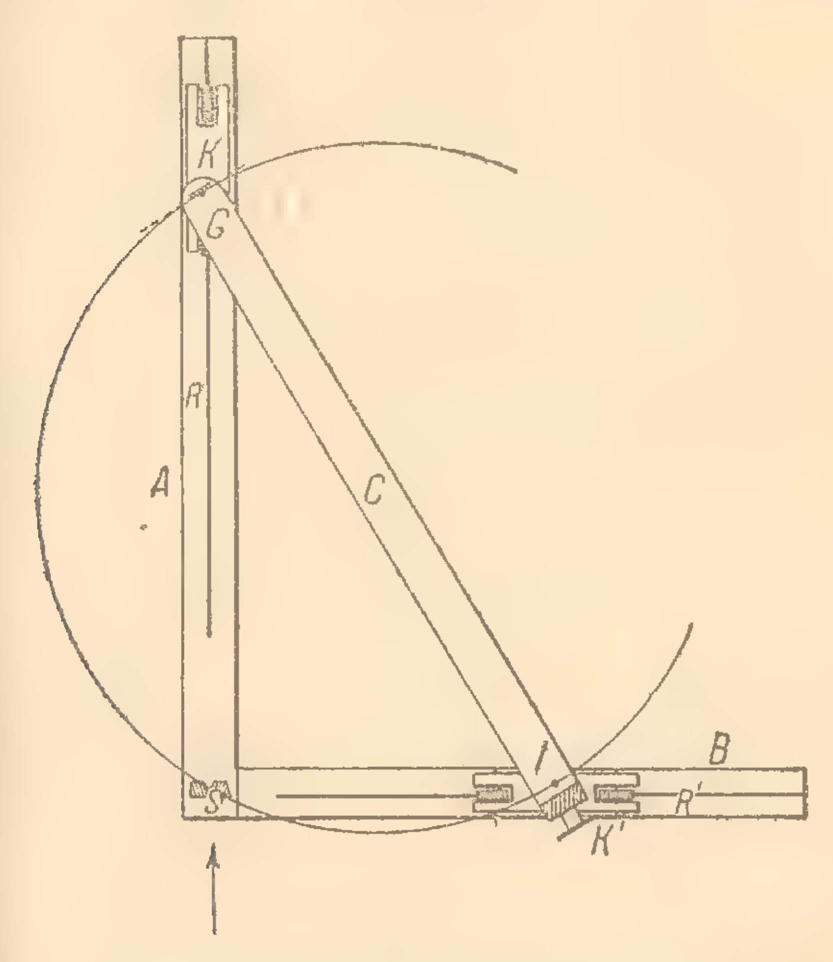


Рис. 20. Схема спектроскопа с вогнутой решеткой.

спектр. C — скрепляющий стержень, который несет решетку и аппарат для наблюдения спектра. Этот стержень установлен на тележках K и K', катящихся по рельсам R и R'. Рельсы расположены под прямым углом друг к другу и пересекаются только в S.

Для белого света спектроскоп с решеткой дает ряд спектров, более и более раздвинутых по обе стороны от одной белой полосы посредине. Эти спектры называются спектрами первого, второго, третьего порядков и т. д. в зависимости от степени расхождения. Одно-

временно из всего этого множества спектров можно использовать только один спектр, и чем больше порядковый номер спектра, тем больше его дисперсия. Спектры высших порядков налагаются один на другой, так что красный конец спектра одного порядка падает на фиолетовый конец или на какой-либо другой цвет спектра следующего более высокого порядка. Когда необходимо совсем отделить один цвет от другого, обычно практикуется помещать где-нибудь в пучке света поглощающий экран, непрозрачный для нежелательного цвета, но прозрачный для другого. Цвета можно также отделить при помощи «фильтрующей призмы», ось которой перпендикулярна щели, как на рис. 19. Спектр выше четвертого порядка редко используется. Относительная яркость спектров решетки зависит от формы проведенных бороздок. Некоторые алмазные острия дают решетки с одним или двумя очень яркими определенными спектрами, а потому такие решетки пользуются предпочтением. Выбор хорошей точки алмаза — это обычно результат опытов, а не микроскопического исследования. Спектр может быть очень ярким для одних цветов и не ярким для других. В лучшем случае решетка редко отбрасывает до 1/10 света в один спектр, и поэтому при работах, в которых потеря света имеет большое значение, часто предпочитается призма, так как она может пропустить до 85% света. В призматическом спектре фиолетовый конец значительно сильнее растянут, чем красный, в то время как в спектре вогнутой решетки дисперсия является линейной функцией длины волны, т. е. равные расстояния вдоль спектра вогнутой решетки соответствуют равной разности длин волн. О таком спектре говорят, что он «нормальный». Спектр плоской решетки для малых расстояний почти нормальный.

Длины волн спектра, видимые глазу, располагаются примерно от 0,39 до 0,80 μ*. За фиолетовый конец солнечный спектр простирается до 0,29 μ, где он практически отрезывается вследствие непрозрачности нашей собственной атмосферы (в особенности содержащегося

---

* Микрон, равный 0,001 *мм*, обозначается греческой буквой μ.

в ней озона), а может быть и вследствие непрозрачности солнечной оболочки. За красными лучами солнечный спектр простирается до длины волны около 20 μ, хотя с несколькими большими перерывами вследствие непрозрачности атмосферы (в особенности водяного пара, окиси углерода и озона), благодаря чему он практически оканчивается на 20 μ. Обыкновенный спектроскоп со стеклянными призмами перестает пропускать свет с длиной волн около 0,35 μ в ультрафиолетовой части и около 2,5 μ в инфакрасной, но пределы прозрачности различны для различных сортов стекла. Спектроскопы с кварцевыми призмами пропускают лучи любой длины волны от 0,20 и до 4,0 μ. Флюорит прозрачен для ультрафиолетовых и для инфракрасных лучей; его прозрачность доходит приблизительно до 7,0 μ *. Каменная соль так же прозрачна для ультрафиолетовых лучей и до 17 μ в инфракрасных. Посеребренное зеркальное стекло отражает почти полностью все лучи инфракрасные и лучи видимого спектра, и его отражающая способность остается высокой до длины волны 0,33 μ в ультрафиолетовом конце спектра. Между длиной волн 0,33 и 0,29 μ отражающая способность серебра не достигает 15%. Зеркальный металл, который применяется для решеток, отражает в видимой части спектра значительно слабее, чем серебро, но продолжает отражать 40% или больше для длин волн более коротких, чем 0,30 μ.

Как уже говорилось выше, кропотливое изучение линий, найденных в спектре, дало наиболее интересные результаты; в солнечном спектре эти линии становятся гораздо многочисленнее в сторону фиолетовых и ультрафиолетовых лучей. К счастью, обыкновенная фотографическая пластинка очень чувствительна в этой многолинейной фиолетовой и ультрафиолетовой частях

* Хотя солнечные лучи длины волны меньшей 0,29 μ не найдены, земные источники света дают лучи значительно более короткой волны, даже до 0,10 μ. Рентгеновские лучи имеют еще более короткую длину волны. — *Прим. авт.*

В настоящее время на высоких горах обнаружены следы солнечного спектра в области около 0,25 μ, прошедшие через земную атмосферу. — *Прим. ред.*

спектра, и в настоящее время большая часть исследований спектра производится фотографически. Существуют специальные фотографические пластинки, чувствительные к другим частям спектра. Окрашивание обыкновенных пластинок некоторыми красками делает их применимыми для красных лучей и даже значительно далее видимого предела в красной части спектра. Для спектральных исследований в далеком красном участке спектра необходимо употреблять измерительный прибор, чувствительный к теплоте: такой прибор будет описан несколько ниже.

Для некоторых целей достаточно, чтоб лучи Солнца падали непосредственно в спектроскоп, но обыкновенно бывает необходимо ограничиться наблюдением только избранных площадок Солнца, например солнечным пятном или краем Солнца, называемым «лимбом» в отличие от центра. Чтоб сделать это, щель спектроскопа должна быть помещена в фокусе линзы или вогнутого зеркала, которое дает изображение Солнца достаточных размеров, удобных для его исследования. Когда спектроскоп большой и работа требует того, чтобы поддерживать температуру совершенно постоянной во время долгих фотографических экспозиций, становится весьма желательным сделать спектроскоп неподвижным и пользоваться целостатом для отражения света на линзу или зеркало. На рис. 21 изображен в разрезе законченный около 1910 г. большой 150-футовый башенный телескоп Солнечной обсерватории на горе Вильсона, имеющий внизу для спектроскопа шахту глубиною в 75 фут. *. Башенный телескоп меньших размеров с успехом служил там для работ в продолжение долгого времени. Целостат последнего находится на вершине башни вышиной в 60 фут. и отражает солнечные лучи света вертикально вниз через линзу, которая дает изображение Солнца с диаметром больше 7 дюйм. на щель спектроскопа около поверхности земли. Щель находится в центре поворачивающегося стола, который поддерживает на жесткой стальной связи коллиматор и плоскую решетку на 30 фут. ниже

* 1 фут равен 30,48 *см*, 1 дюйм — 2,54 *см*. — *Прим. ред.*

поверхности земли. Таким образом весь спектроскоп может поворачиваться вокруг оси — луча света. Линза коллиматора действует так же, как линза, дающая изображение (спектроскоп типа Литрова), и спектр падает на фотографическую пластинку, укрепленную на поверхности поворачивающегося стола рядом со щелью. Под землей температура весьма постоянна. У вершины башни воздух почти свободен от дрожаний, которые создают кипение изображения. Так как пучок света идет вертикально вниз от вершины башни, он меньше подвержен искажению вследствие струения воздуха, чем если бы он шел наклонно непосредственно от Солнца. Поэтому башенный тип телескопа солнечной обсерватории в высокой степени благоприятен для проведения точного исследования с мощным прибором. Новый башенный телескоп с фокусным расстоянием свыше 150 фут., построенный на Солнечной обсерватории на горе Вильсона, уже дал в высшей степени замечательные результаты.

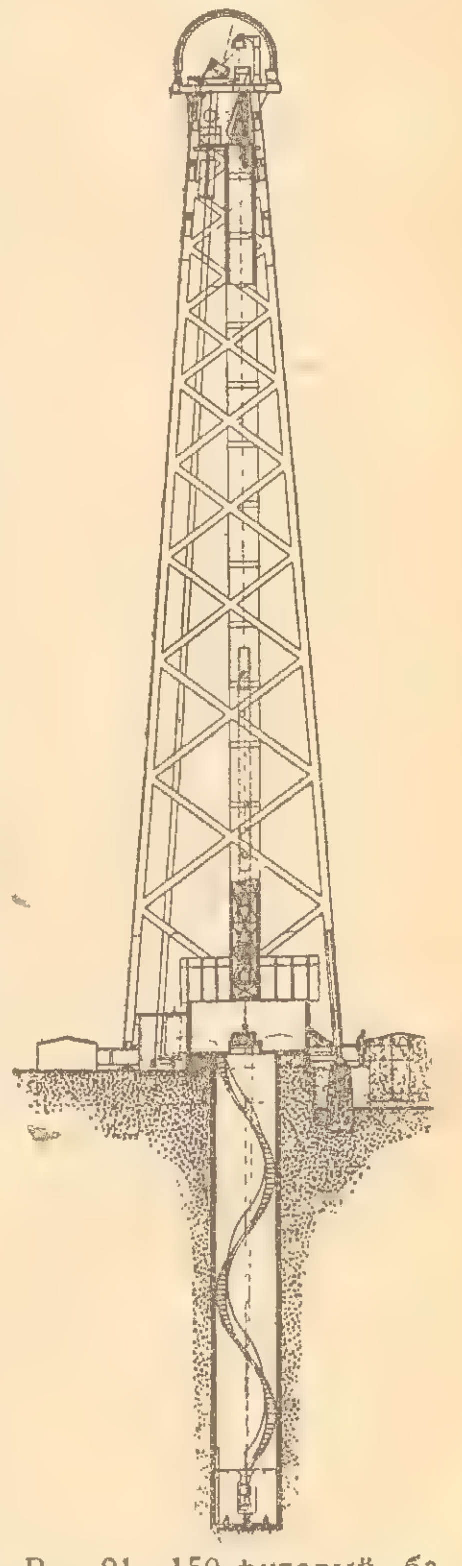


Рис. 21. 150-футовый башенный телескоп обсерватории на горе Вильсона.

Спектрогелиограф

Спектрогелиограф, изобретенный Хэлом, представляет собой прибор для фотографирования Солнца в лучах одной длины волны. Допустим, что изображение Солнца фокусировано на щель спектроскопа и что

щель длиннее, чем диаметр изображения. Спектроскоп может быть так отрегулирован, что какая-либо фраунгоферова линия, например линия, называемая C или

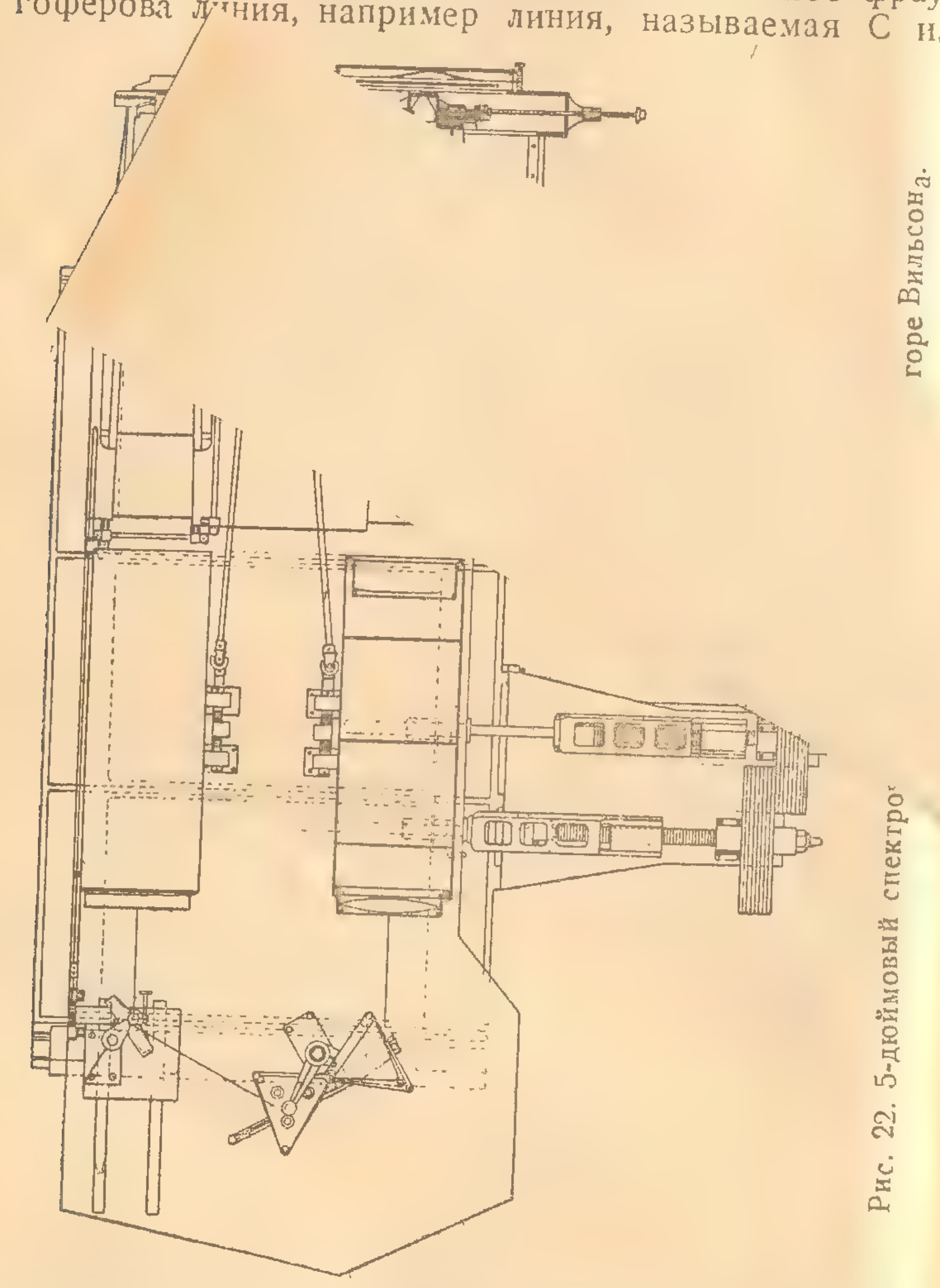


Рис. 22. 5-дюймовый спектро… горе Вильсона.

$H\alpha$, принадлежащая водороду, попадает в центр поля зрения. Затем, если сообщить изображению Солнца движение поперек щели, то наблюдатель увидит массы водорода на Солнце, испускающие свет, когда изобра-

жения их последовательно проходят над щелью. Но практически невозможно заметить и запомнить или зарисовать эти подробности. Если же глаз заменить фотографической пластинкой и поместить вплотную перед ней щель, настолько узкую, чтобы сквозь нее проходила только линия $H\alpha$, то можно произвести фотографирование, но это было бы смешением всех последовательных видов водородных масс, что совершенно бесполезно. При передвижении же пластинки с такой же скоростью, с какой передвигается изображение Солнца, последовательно подставляются новые части пластинки для каждой новой части изображения, и в результате получается фотография распределенных по всему солнечному диску водородных масс, испускающих свет в пределах линии $H\alpha$. Спектрогелиограф такого типа изображен на рис. 22. В спектрогелиографе другого типа весь спектроскоп плавает на ртути и движется медленно, перпендикулярно к лучам, поперек изображения Солнца и фотографической пластинки, которые оба остаются неподвижными. Если бы длинная щель спектроскопа была прямой, спектральные линии были бы сильно искривлены, и изображение Солнца даваемое спектрогелиографом, было бы искажено. Этого дефекта можно избежать применением искривленных щелей, делая их кривизну вдвое меньше кривизны спектральных линий. Кривизна этих щелей различна для различных спектральных линий, так что требуется столько же пар щелей, сколько спектральных линий, для которых желают получить спектрогелиограммы. Таким образом использовались линии $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ водорода H и K кальция, и произведены некоторые предварительные опыты с другими линиями.

Спектрогелиоскоп Хэла

В этом спектрогелиографическом инструменте тому приспособлению, которое вырезывает при наблюдениях определенную длину волны, как, например, линию K кальция, сообщается колебательное движение. Таким образом в то время как длина волны избранного света остается постоянной, наблюдаемая область изображения

Солнца колеблется в пределах определенной площа солнечного диска так быстро, что глаз не улавлива этого движения Такое приспособление дает возмо ность сразу видеть все, что происходит в избранн области Солнца с тем газом, спектральная линия кот рого наблюдается. Получаемый эффект подобен э фекту киносъемки движущегося водорода и кальци находящихся над поверхностью Солнца.

Гелиомикрометр

Этот прибор представляет собой большую сфер, разделенную на градусы по долготе и по широте, кот рую можно устанавливать соответственно располож нию полюсов Солнца. Фотография или спектрогели графическое изображение Солнца отбрасывается на по верхность этой сферы, и наблюдатель может на не непосредственно отсчитывать долготу и широту сол не ных пятен и других образований.

Компаратор

Во всякой фотографической работе по спектру главным моментом являются точные измерения положени спектральных линий друг относительно друга или по отношению к некоторому начальному положению. В многих случаях щель спектроскопа частично закрыт диафрагмой особой формы, которая может передвигаться, открывая различные части щели. Таким образом можно делать последовательные снимки различных источников света, как, например, центра и края Солнца или Солнца и вольтовой дуги железа. В результате на фотографии получается несколько спектров, соответствующих этим различным источникам света, расположенных в точности один над другим Для измерений фотография кладется на столик измерительного прибора, или компаратора, и этот столик может передвигаться взад и вперед точным винтом с разделенной головкой; движением винта избранная спектральная линия приводится на крест нитей измерительного микроскопа. Таким способом иногда делаются измерения положения с точностью до десятитысячной доли миллиметра.

Длины волн линий солнечного спектра и ярких линий спектров химических элементов являются основными данными спектроскопии. В большой таблице солнечного спектра Роуланда длины волн даны с семью десятичными знаками или с точностью до тысячных долей «единицы Ангстрема», названной в честь него ангстремом и обозначаемой знаком Å. Недавно было обнаружено, что в таблице имеются некоторые систематические ошибки, обусловленные различными причинами, главным образом неизвестным источником ошибок, связанным с применением решетки для определения длины волны; поэтому к данным таблицы нужно придать поправки в одну или две сотых ангстрема, чтоб сделать таблицу Роуланда однородной. Для приведения же данных таблицы к абсолютной шкале международной метрической системы необходимо ввести немного большие поправки. При помощи интерферометра эти поправки постепенно определяются, и возможно, что по истечении нескольких лет мы будем иметь стандартные таблицы солнечного спектра и спектров земных источников с точностью до двух или трех единиц седьмого знака *.

Кажется необычайным, чтобы такая малая величина, как длина волны света, измерима с такой величайшей точностью; но еще более удивительно то, что такая степень точности необходима для развития наших исследований. В действительности так это и есть, и, в преобладающей своей части, исключительное за последнее время развитие наших знаний о Солнце дается разностью длин волн (смещение, обусловленное давлением или скоростью), не превосходящей 0,005 Å, т. е. меньше одной миллионной доли длины волны желтого цвета.

* Подобные таблицы изданы в 1928 г. обсерваторией на горе Вильсона. Они представляют собой полную ревизию таблиц Роуланда. Определено положение свыше 20 000 фраунгоферовых линий солнечного спектра в области 2 975—10 219 Å. Положение линий в таблицах дается с точностью до 0,001—0,002 Å. Около 60% всех фраунгоферовых линий отождествлены с линиями 57 известных химических элементов. — *Прим. ред.*

время как оставшаяся одна четверть отражается и ли проходит сквозь тело, то говорят, что поглощается три четверти. Такое тело по закону Кирхгофа будет испускать только три четверти того, что при данной длине волны и при данной температуре излучал бы идеальный радиатор.

Важность понятия идеального радиатора будет видна из дальнейшего. Нет вещества в мире, отвечающего этим требованиям, но ламповая копоть очень близка к идеальному радиатору при низкой температуре. Однако, если взять замкнутую полую камеру, сделанную из любого вещества, и ее стенки поддерживать при постоянной температуре, то излучение, исходящее из камеры, будет излучением идеального радиатора. Если в стенке проделано маленькое отверстие, то выходящее через него излучение практически будет идеальным излучением, как у идеального радиатора. Такого типа приборы создавались в течение последних 30 лет. Были произведены тщательные измерения интенсивности их излучения в широких пределах длины волн и в широких пределах температур — от температуры жидкого воздуха и до температуры плавления платины. Эти результаты были сравнены с теоретической формулой в отношении температуры, длины волны и излучения.

Формула Вина (Wien), видоизмененная Планком, оказалась удовлетворяющей результатам наблюдений. Обозначим через E_λ — излучение идеального радиатора с длиной волны λ при абсолютной температуре T, через e — основание неперовых логарифмов, и через c_1 и c_2 — две постоянные, определяемые экспериментальным путем. Тогда будем иметь:

$$E_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5\left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1\right)} \text{ (формула Вина-Планка).} \qquad (1)$$

Как уже говорилось выше, ни одно тело, испускающее лучи, под влиянием температуры не может превысить излучения, определяемого этой формулой ни для какой длины волны и ни при какой температуре.

Вторая формула, имеющая почти такое же значение и принадлежащая Стефану (Stefan), дает полное коли

чество излучения E всех длин волн для идеального радиатора при абсолютной температуре T. Она имеет следующий вид:

$$E = \sigma T^4 \text{ (формула Стефана).} \tag{2}$$

Количество σ есть величина постоянная, определяемая экспериментальным путем.

Третья формула, называемая законом смещения Вина, связывающая длину волны максимального излучения λ_{max} (выраженную в тысячных долях миллиметра, т. е. в μ) с абсолютной температурой T, такова:

$$\lambda_{max} T = 2930 \text{ (формула смещения Вина).} \tag{3}$$

Именно благодаря этим трем формулам мы имеем возможность получить некоторые данные о минимальной температуре Солнца. Многие тела кажутся близкими к состоянию идеального радиатора при высоких температурах, хотя при низких температурах значительно от него отклоняются. Но ни одно тело, излучающее в силу своей температуры, не может превзойти ни по общему количеству своего излучения, ни по излучению для отдельной длины волны излучения идеального радиатора при той же температуре. Отсюда следует, что если при помощи формулы (2) мы сможем определить температуру, какую должен иметь идеальный радиатор, чтобы его излучение количественно приближалось к излучению Солнца, то можно быть уверенным, что температура Солнца должна быть таковой или еще выше.

Прежде чем привести значение постоянных входящих в эти формулы, мы должны рассмотреть, как может быть измерена энергия излучения. Точного способа измерения лучистой энергии, как таковой не существует. Она сперва должна быть преобразована в теплоту. Единицей измерения теплоты является калория, или то количество тепла, которое требуется, чтобы нагреть один грамм воды, имеющей температуру 15° Ц на один градус. С этой единицей мы должны связать понятие интенсивности. Итак, мы **определяем единицу интенсив-**

ности лучистой энергии как такую, которая, будучи полностью поглощена поверхностью, перпендикулярной к лучу, дает одну калорию тепла на квадратный сантиметр в минуту. Таким образом мы измеряем излучение калориями на квадратный сантиметр в минуту.

Чтобы воспользоваться этим определением и установить соответствие с длиной волны, выраженной в микронах (μ), и с температурой, выраженной в абсолютных градусах, значения постоянных в формулах (1) и (2) должны быть следующие:

$$c_1 = 5{,}32 \cdot 10^5; \quad c_2 = 14{,}325; \quad \sigma = 82{,}0 \cdot 10^{-12}.$$

Спектры различных источников света

На рис. 23 кривые *A* и *B* дают распределение излучения в спектре идеального радиатора при абсолютной температуре 7 000 и 6 200° на основании вычисления по формуле (1). Кривая *C* дает распределение излучения, выведенное из исследования спектра для всего солнечного диска в предположении, что наблюдение производится вне нашей атмосферы, на основании данных определений, сделанных Смитсонианской экспедиции и на вершинах горы Вильсона (Моунт-Вильсон) и горы Уитнея (Моунт-Уитней). Длины волн отложены по горизонтальной оси (по оси абсцисс) и выражены в тысячных долях миллиметра, т. е. в микронах, обозначаемых греческой буквой μ. Видимый спектр практически простирается от 0,4 до 0,7 μ, так что бо́льшая часть солнечного излучения остается невидимой.

Высоты кривых (ординаты) пропорциональны энергии лучей соответствующей длины волны, измеренной по их тепловому действию. Следует отметить, что различие форм вычисленных и наблюденных кривых больше всего в ультрафиолетовой части, где наблюдаемая кривая солнечной радиации падает гораздо быстрее, чем вычисленная для излучения идеального радиатора *.

---

* Падение наблюдаемой кривой распределения энергии в спектре Солнца, в фиолетовой его части, объясняется наложением фраунгоферовых линий, число которых в фиолетовой части спектра Солнца особенно велико. — *Прим. ред.*

Дальнейшие замечания по вопросу температуры Солнца будут сделаны в следующей главе.

Читатель замечает, что максимальная ордината кривой *А* приходится на меньшую длину волны, чем для кривой *В*, и что кривая *А* во всех своих точках выше кривой *В*. Предполагается, что идеальный радиатор

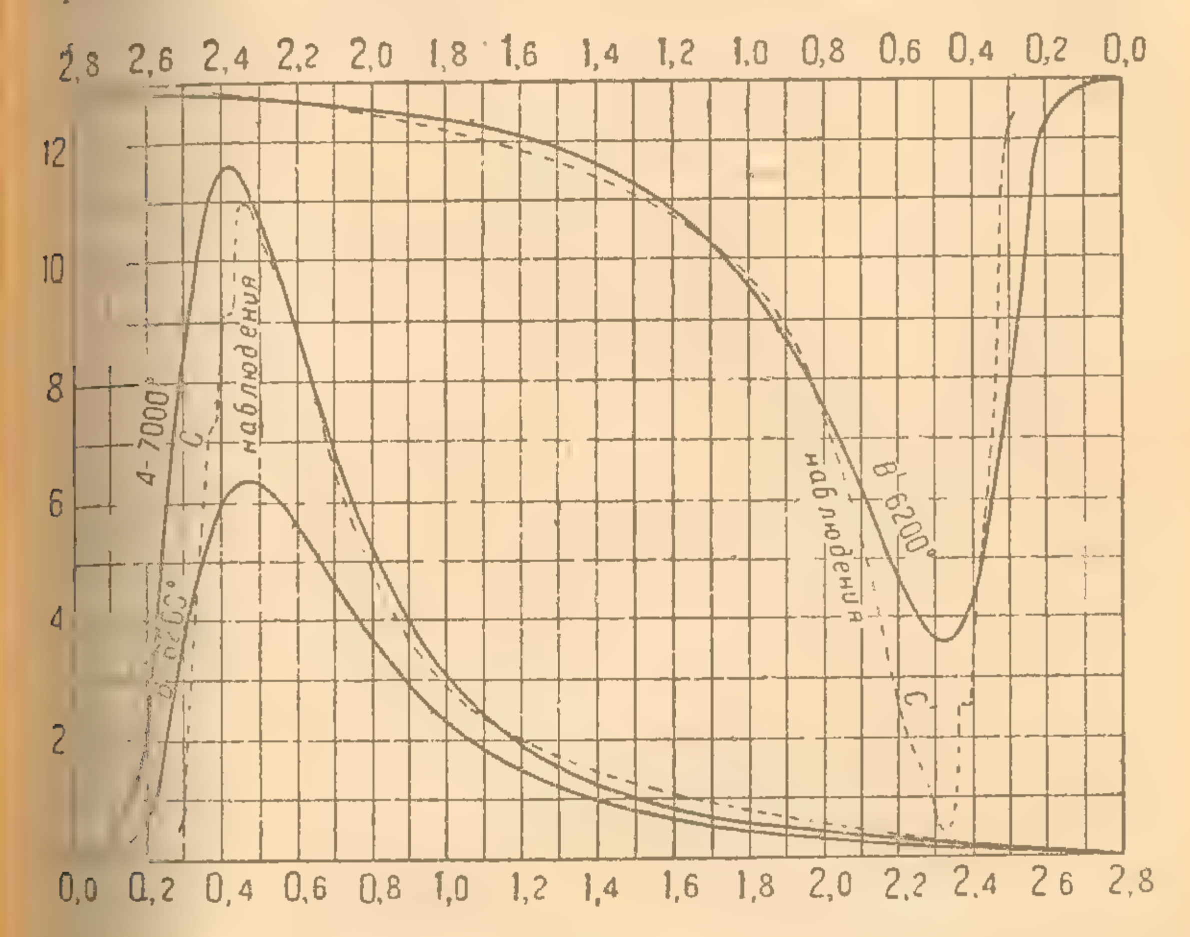


Рис. 23. Распределение энергии в спектрах Солнца и идеального радиатора.

испускает лучи всех длин волн при любой температуре, высока ли она или низка; но когда температура низка, то более короткие волны, включая те, которые принадлежат видимым лучам, слишком слабы для того, чтобы их можно было уловить даже таким высокочувствительным органом, как глаз. С повышением температуры интенсивность лучей всех длин волн повышается, но интенсивность лучей с короткими волнами возрастает быстрее. Отсюда, согласно формуле (3), длина волны максимального излучения растет медленнее и передви-

гается с повышением температуры к фиолетовому концу спектра. Большинство обыкновенных твердых и жидкостей испускают непрерывный спектр, интенсивность которого с повышением температуры возрастает быстрее в коротких волнах, чем в длинных. Но обычно в спектрах твердых и жидких тел имеются особые области, или полосы, где излучение сильнее, чем излучение для соседних длин волн. Эти области спектра называют областями «избирательного излучения», а согласно закону Кирхгофа они являются также и областями «избирательного поглощения».

Когда газ или пар исследуется при низком давлении и в малом количестве, как, например, при проскакивании электрической искры между металлическими полюсами, спектр представляется состоящим главным образом из узких линий, или полос избирательного излучения, без заметного сопровождающего непрерывного спектра. Некоторые авторы придерживаются того мнения, что непрерывный фон совершенно отсутствует в спектрах газов, но кажется более вероятным, что в действительности в них имеются очень слабые следы этого фона. При увеличении количества газа, когда исследователь может наблюдать большую его толщу, этот непрерывный фон усиливается до тех пор, пока испускание волн всех длин приблизится, наконец, по интенсивности к идеальному радиатору. Эта точка зрения подтверждается тем обстоятельством, что если давление излучающего газа увеличивается до нескольких атмосфер, спектральные линии его расширяются, пока, наконец, на некотором расстоянии от линии не появится заметный непрерывный фон. Так или иначе, но несомненно, что газы под давлением меньше атмосферного должны давать при большой их толще непрерывный спектр. В высшей степени вероятно, что эти газы должны себя вести также и с увеличением плотности при все большем и большем сжатии. Согласно закону Кирхгофа области сильного излучения являются областями и сильного поглощения, так что в случае большой толщи газа, как только что указывалось, только передние слои вызвали бы линии или полосы высокого избирательного поглощения, в то время как глубоко лежащие слои дали

бы непрерывный спектр. Если газ не обладает одинаковой температурой, но становится горячее с увеличением его толщи, легко видеть, что непрерывный спектр может превзойти по своей интенсивности спектральные линии, так что в действительности яркие линии из-за контраста с фоном будут казаться темными. Прекрасно известно, что солнечный спектр имеет непрерывный яркий фон, пересеченный темными линиями, и в дальнейшем будут даны доказательства того, что этот спектр на самом деле нужно рассматривать как газовый спектр только что описанного типа.

Пиргелиометрия

В 1838 г. Пулье (Pouillet) изобрел прибор, который он назвал пиргелиометром (рис. 24) и который он употребил для измерения интенсивности солнечного излучения. Плоский посеребренный сосуд *ab*, зачерненный с передней поверхности ламповой копотью, наполняется водой и заключает в себе шарик термометра *d*. Прибор держится зажимом *c* и направляется на Солнце; это достигается, когда тень от коробки *ab* падает концентрично на пластинку *ee*. При вращении всего прибора в зажиме *c* вода может взбалтываться, чем достигается равномерная температура. Для наблюдения интенсивности солнечного излучения прибор сначала затеняется и отмечается изменение температуры, происшедшее за определенный промежуток времени, например за 5 минут. Затем экран устраняется, и наблюдатель отмечает изменение температуры вследствие нагревания Солнцем за тот же промежуток времени. Наконец, наблюдение снова повторяется в тени. Средняя скорость повышения температуры за минуту при выставлении на Солнце исправляется за среднюю скорость охлаждения, полученную по отсчетам в тени; в результате получается скорость повышения температуры в минуту для воды и меди (их теплоемкости известны), происходящее от поглощения солнечных лучей известной по величине и поставленной к ним перпендикулярно передней поверхностью коробки. Нужно внести поправку, составляющую приблизитель-

но 2,5%, за потерю тепла путем отражения ламповой копотью.

Пулье наблюдал интенсивность солнечных лучей при помощи этого прибора в различные часы дня. Атмосфера ослабляет солнечные лучи, благодаря рассеянию молекулами составляющих ее газов и частицами содержащейся в ней пыли. Этот эффект становится все более чувствительным по мере приближения Солнца к горизонту. Атмосфера простирается вверх на большое расстояние, но становится все менее и менее плотной, так что масса ее, лежащая выше 150 *км*, не вызывает заметного поглощения солнечных лучей. Поэтому мы можем рассматривать влияющую часть атмосферы как слой, толщина которого весьма мала по сравнению с радиусом Земли: отсюда всякий раз, когда Солнце стоит на высоте 15° или больше над горизонтом, отношение длины пути его луча в воздухе к длине пути луча при положении Солнца в зените, равно секансу зенитного расстояния Солнца в момент наблюдения.

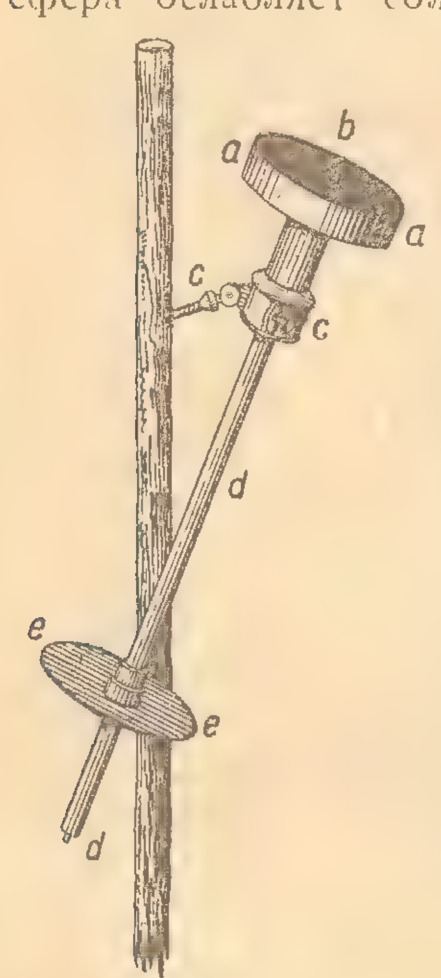


Рис. 24. Пиргелиометр Пулье.

В 1760 г. Бугэ (Bouguer) и Ламберт (Lambert) независимо один от другого показали, что когда луч проходит сквозь однородную прозрачную среду, интенсивность его E, после прохождения данной толщи t среды, дается следующей формулой:

$$E = E_0 a^t,$$

где E_0 — первоначальная интенсивность луча, a — постоянная, представляющая долю света, пропущенную единицей толщины слоя.

Пулье применил формулу Бугэ к своим наблюдениям, взяв за единицу ту толщину, через которую проходит луч, когда Солнце находится в зените. Тогда, если z зенитное расстояние, то формула примет вид:

$$E = E_0 \, a^{\sec z}.$$

Он вычислил значение E_0, которое представляет интенсивность солнечной радиации вне атмосферы, приведенное к среднему расстоянию Солнца, и получил $E_0 = 1{,}76$ *кал/см²* в минуту *. Радо (Radau), а позднее Ланглэй показали, что это значение должно быть меньше истинного значения «солнечной постоянной», потому что Пулье не производил спектральных наблюдений, которые необходимы для учета неодинаковых потерь для лучей различных длин волн при прохождении их через воздух.

Пиргелиометр Пулье был усовершенствован Тиндалем (Tyndall), который заменил медную коробку, содержащую воду, железной коробкой, содержащей ртуть. За последние годы прибор Тиндаля был еще более усовершенствован Смитсонианским институтом. Сначала применялась медная коробка, наполненная ртутью; затем стал применяться медный диск с радиально просверленным отверстием для цилиндрического резервуара термометра, также с небольшим количеством ртути вокруг последнего для лучшего контакта. Начиная с 1910 г., институт применяет зачерченный серебряный диск (показанный в разрезе буквой *a* на рис. 25) с радиальным отверстием со впаянным тонким колпачком из стали. Колпачок наполняется ртутью, и в него вставляется цилиндрический резервуар термометра *b*, согнутого под прямым углом, чтобы во время употребления прибора термометр был направлен к Солнцу. Диск заключен в зачерненную камеру *c*, предохраняемую от изменения температуры деревянными наружными стенками *d*. Лучи

---

* Интенсивность солнечного излучения изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния земного шара от Солнца. В январе излучение Солнца по этой причине на 7% больше, чем в июле — *Прим. ред.*

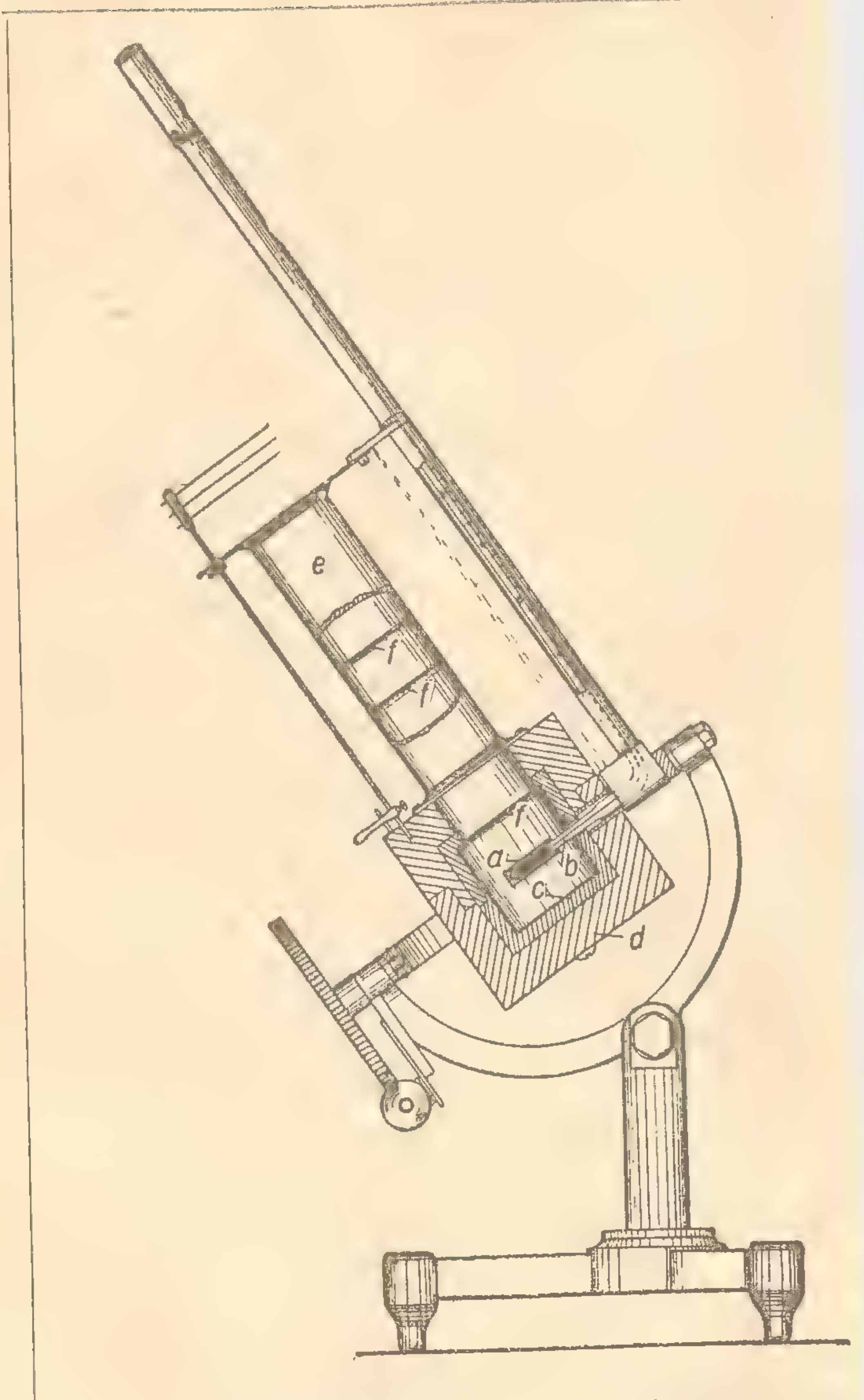


Рис. 25. Пиргелиометр Аббота с серебряным диском.

Солнца принимаются через трубу *e* (частично показанную в разрезе), которая содержит диафрагмы *fff*, чтобы помешать воздушным токам достигнуть серебряного диска. Экваториальная установка дает возможность наблюдателю направить прибор на Солнце. Больше 50 таких приборов, как показанный на рис. 25, были построены и сравнены с такими же приборами в институте и затем разосланы различным наблюдателям

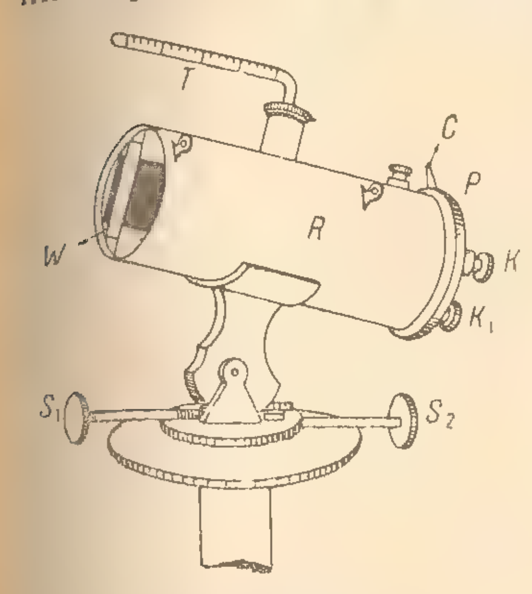


Рис. 26. Пиргелиометр Ангстрема.

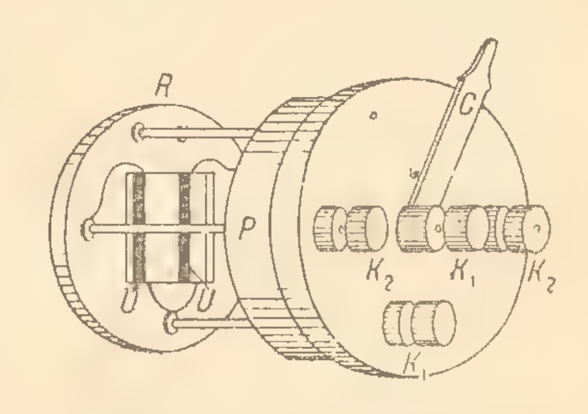


Рис. 27. Детали пиргелиометра Ангстрема.

Солнца за границу, чтобы им точно передать применяемую у нас шкалу для измерений.

В 1896 г. Ангстрем (Angström) изобрел свой пиргелиометр с электрической компенсацией, который пользовался широким распространением. На рис. 26 показан общий вид прибора, а на рис. 27 изображены в увеличенном виде детали его внутренней части. Прибор состоит из двух тонких полосок из манганина *UU*, с известной площадью, с почерненными передними поверхностями; к обратной стороне каждой из полосок для определения их температуры прикреплены спаи термоэлементов; клеммы K_1, K_2 присоединяются соответственно к полоскам и к спаям термоэлемента. Измеряемый электрический ток пускается по одной пластинке, в то время как другая пластинка выставляется на Солнце. Когда гальванометр, соединенный со спаями термоэлемента, показывает равенство температуры, предполагается, что количество тепла, введенное эле-

ктрическим током, равно количеству тепла, полученного поглощением солнечных лучей. Поворачивая экран W и коммутатор C, обе пластинки нагреваются попеременно Солнцем и электричеством, причем из полученных результатов берется среднее. После внесения поправки за потерю путем отражения, результаты выражаются в калориях на квадратный сантиметр в минуту. Прибор заключен в задиафрагмированную трубку R и устанавливается на азимутальном штативе, снабженном винтами S_1, S_2 для следования за Солнцем. Термометр T показывает температуру пластинок.

В обеих описанных выше формах пиргелиометра, в случае применения их как стандартных инструментов, нужно определить и внести поправку за отраженную радиацию. Кроме того, имеется еще и другой источник потерь, происходящих от того обстоятельства, что часть тепла, получаемого поглощением солнечных лучей ламповой копотью, уносится воздухом, и вследствие вторичной радиации в виде лучей с большой длиной волны, но эти потери не влияют на термометр или на спай термоэлементов.

Для того чтобы избежать этих ошибок, были изобретены другие конструкции пиргелиометров, в которых лучи поглощаются внутри пустотелой цилиндрической зачерненной камеры. Такая камера, как указано выше, практически является идеальным радиатором, а значит и идеальным поглотителем, так что не требуется вносить никаких поправок за отражение лучей. Лучи поглощаются главным образом задней стенкой, и так как трубка глубока, теплота, стремящаяся выйти, будет поглощена где-нибудь боковой стенкой. Применялись два способа использования пустотелой камеры, первый — около 1894 г. В. А. Михельсоном, а второй в 1905—1910 гг. — автором. Михельсон окружал камеру тающим льдом и водой и определял количество введенного тепла измерением уменьшения объема льда по мере его таяния.

В конструкции, изобретенной автором, как показано на рис. 28, известное количество воды, входящей в E и выходящей в F, непрерывно протекает по спиральному каналу вокруг стенок зачерненной камеры AA и уно-

сит теплоту с такой же скоростью, с какой она накопляется. Повышение температуры воды, обусловленное нагреванием Солнца (через проход *BB* с диафрагмой *C*) известной величны, определяется диференциальным электрическим термометром, состоящим из четырех тонких платиновых проволок, навернутых вдоль спиралей из слоновой кости. Эти проволоки омываются струей воды, которая протекает по спиральным каналам из слоновой кости. Две катушки находятся в D_1, при входе потока воды, и две в D_2, после его прохождения через стенки камеры. Все четыре соединены в мостик Уитстона, а показания их отмечаются чувствительным гальванометром. Пиргелиометр защищен от влияния изменений внешней температуры вакуумным сосудом Дьюара *KK*. Для испытания точности показаний прибора две катушки *G* и *H* из манганиновой проволоки помещены внутри камеры вблизи ее дна, и известное количество тепла может быть получено в каждой катушке при прохождении определенного электрического тока. Потом это тепло измеряется точно так же, как если бы оно было получено от Солнца, и если

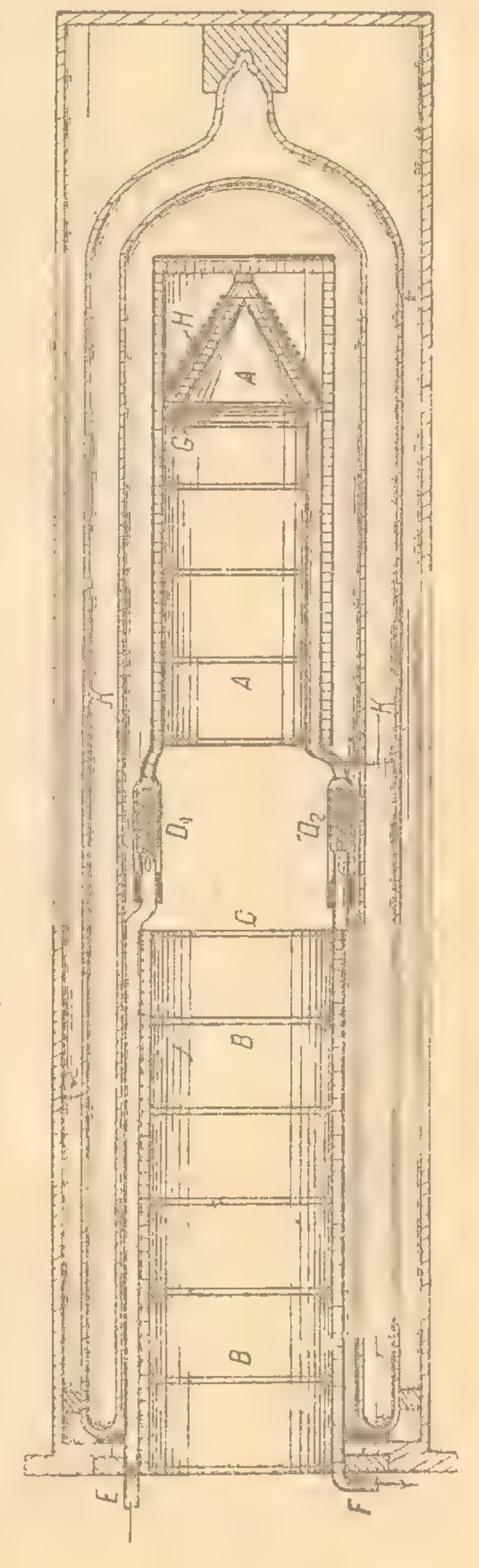


Рис. 28. Пиргелиометр Аббота с проточной водой.

все введенное количество тепла найдено, то можно допустить, что прибор дает правильные показания количества солнечного излучения, тем более что катушка G очень невыгодно расположена для того, чтобы отдавать свое тепло стенкам.

В Вашингтоне в 1910 г. испытывались два таких пиргелиометра различного размера с водяным потоком и дали в точности совпадающие результаты для солнечной радиации, причем были для контроля получены почти те же значения развиваемой теплоты и путем пропускания в пиргелиометр электрического тока. Эти пиргелиометры с водяным потоком служат стандартами, и показания пиргелиометров с серебряным диском приводятся к их шкале. Водяной пиргелиометр устанавливается экваториально и ведется часовым механизмом за Солнцем. Он поочередно или затеняется или выставляется под действие солнечных лучей.

Болометрия

Для измерения интенсивности лучей в солнечном спектре, чаще всего применяется инструмент, называемый болометром — чувствительный электрический термометр, изобретенный Ланглэем около 1880 г. В современных конструкциях он состоит из двух совершенно одинаковых узких вычерненных платиновых пластинок. В ширину эти пластинки едва достигают толщины волоса, толщина их в 10 раз меньше их ширины, а длина их составляет 10—12 *мм*. На рис. 29 такие пластинки *a* и *b*, имеющие электрическое сопротивление приблизительно в 4 ома каждая, присоединены, как показано, к двум катушкам *c* и *d* из манганиновой проволоки с сопротивлением примерно в 20 ом, образующие вместе с пластинками *a* и *b* мостик Уитстона. Переменное сопротивление *e* в несколько тысяч ом, намотанное в виде катушки, служит для приведения к полному электрическому равновесию всей системы. Иногда в одну из ветвей мостика Уитстона включается небольшое сопротивление из меди, чтобы предотвратить нарушение равновесия от изменения температуры окружающей среды. Через мостик постоянно идет ток около 0,1 А

от аккумуляторной батареи из нескольких параллельно соединенных элементов. За всем этим устройством ведется наблюдение с помощью высокочувствительного гальванометра *g*. Если излучаемая радиация падает на одну из пластинок болометра, то сопротивление этой пластинки увеличивается, и в результате происходит отклонение стрелки гальванометра, пропорциональное поглощенной теплоте. Запись гальванометра ведется автоматически на фотографической пластинке, которая передвигается в вертикальном направлении при помощи часового механизма одновременно с перемещением спектра через пластинку болометра. Повышение и падение температуры пластинки вследствие изменения интенсивности спектра указывается более высокими и более низкими изгибами кривой; последняя чертится фотографически маленьким пятнышком солнечного света, отраженным миниатюрным зеркальцем стрелки гальванометра. На рис. 84 (стр. 275) изображена пара таких кривых энергии, или болограмм солнечного спектра. Несколько главных фраунгоферовых линий дают сильное понижение кривой и отмечены на рисунке снизу. В точках, отмеченных звездочками **, перед щелью спектроскопа ставилась заслонка, чтобы дать нуль радиации. В точках, отмеченных крестиками ††, вводились диафрагмы для уменьшения интенсивности спектра для того, чтобы фотографическая кривая не вышла за пределы пластинки. Шкала интенсивности была изменена так, как это показано на рисунке.

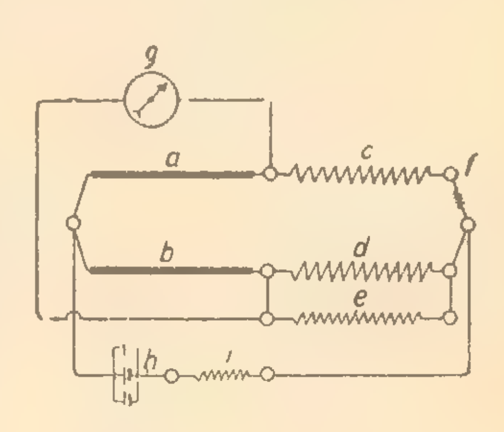


Рис. 29. Схема болометра.

В гл. III и VII говорится о применении болометра к определению «солнечной постоянной», к определению прозрачности атмосферы для лучей различных длин волн, к исследованию сравнительной яркости различных частей солнечного изображения и к определению температуры Солнца. Поразительная чувствитель

ность болометра станет понятна, если сказать, что при обычном его применении измеряются изменения температуры менее 0°, 00001, а при специальной установке эта чувствительность может быть повышена еще в тысячу раз. Еще более поразительная чувствительность глаза доказывается тем фактом, что мы получаем достаточно света через зрачок глаза от звезды шестой величины, чтобы ее видеть. Для наиболее чувствительного болометра потребовалось бы зеркало, может быть трех метров в диаметре, чтобы собрать достаточное количество лучей от такой звезды и сделать нагревание заметным. Это тем более удивительно, что на глаз действует лишь небольшая часть спектральных цветов, в то время как болометр измеряет полную радиацию всех длин волн.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ФОТОСФЕРА

Вид Солнца в телескоп. — Спектр фотосферы. — Таблицы спектра Роуланда. — Химические элементы, обнаруженные и не обнаруженные на Солнце. — Поправки к длинам волн таблиц солнечного спектра Роуланда. — Уровни. — Давление. — Конвекционные токи. — Спектр солнечного края. — Изменение яркости Солнца. — Температура Солнца и методы ее определения. — Спектрогелиограф. — Вращение Солнца.

Светящаяся поверхность Солнца, так называемая фотосфера, при рассматривании ее в телескоп или при фотографировании представляет собою блестящий диск, покрытый неясными пятнами, о которых часто говорят, что они имеют структуру, напоминающую рисовые зерна. Образования с угловыми размерами гораздо меньшими, чем секунда дуги, т. е. имеющие в диаметре 700 *км*, не могут быть отчетливо видимы на Солнце; из этого мы можем заключить, что эти «рисовые зерна», которые по мнениям различных авторов имеют от 150 до 800 *км* в диаметре, представляют собою в действительности значительные области. Некоторые авторы называют эти блестящие области, носящие характер пятнистости, «грануляцией», а более темные промежутки — «порами». На поверхности Солнца часто бывают видны немногочисленные, весьма темные образования, так называемые «солнечные пятна». Вокруг них, если удастся их рассмотреть, близ края, или «лимба» солнечного диска, наблюдаются весьма светлые области, так называемые «факелы». Факелы редко видны дальше чем на ¼ радиуса от края. Фотография показывает ясно, что свет фотосферы слабеет по направлению к краю солнечного диска; невооруженным глазом это усмотреть трудно. Фотография с правильной экспозицией в центре окажется слишком слабой у края. На рис. 30 это ясно видно; кроме того, на нем видны зернисто-рисовая структура фотосферы, солнечные пятна и факелы. Сол-

нечные пятна пересекают солнечный диск приблизительно в 13,6 суток * и появляются вновь через такой же промежуток времени, что и указывает на то, что Солнце вращается вокруг своей оси.



Рис. 30. Фотография Солнца (Эллерман).

30 апреля 1908 г. $2^{ч}30^{м}$ среднего гриничского времени.

Спектр фотосферы

Спектр фотосферы Солнца представляет собою непрерывную цветную ленту, перерезанную поперек темными линиями и полосами. Ньютон различал семь цве-

* Земля в это время движется по своей орбите и потому этот срок не является полупериодом сидерического обращения Солнца

тов спектра: фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый и красный; но эти цвета переходят один в другой совершенно незаметными градациями бесчисленных оттенков. С помощью фотографии и болометра солнечный спектр был исследован за пределами видимого глазом фиолетового конца спектра, который обычно доступен до длины волны 0,29 μ. Здесь лучи почти совершенно прерываются, поглощаясь в земной атмосфере и во внешней оболочке Солнца. Красный конец спектра, который можно видеть глазом до волны 0,80 μ, был сфотографирован Абнэем (Abney) при помощи специально окрашенных пластинок до длины волны 1,1 μ. При помощи болометра солнечный спектр был измерен на Смитсонианской астрофизической обсерватории до длины волны 5,3 μ. По всей вероятности, лучи могут быть замечены с помощью болометра вплоть до 20 μ, но за пределами этого лучи, вероятно, практически совсем поглощались бы в земной атмосфере.

Темные линии и полосы солнечного спектра называются по имени открывшего их ученого «фраунгоферовыми линиями» и имеют два различных источника происхождения. Значительное количество линий, особенно в красной и инфракрасной областях спектра, обязано своим происхождением поглощению света газами и парами земной атмосферы, причем главными поглотителями в земной атмосфере являются кислород, водяные пары и углекислый газ. Но преобладающее большинство фраунгоферовых линий образуется путем поглощения солнечных лучей газами на самом Солнце и около него; а именно: железом, никелем, кальцием, титаном, кобальтом, хромом, марганцем, углеродом, ванадием, натрием, магнием и водородом. Существование всех перечисленных, а также и многих других, элементов на Солнце доказано наличием в солнечном спектре темных линий, занимающих соответственно те же самые положения по длине волны и обладающих соответственно тою же интенсивностью, как и характерные яркие линии этих элементов в спектрах, полученных лабораторным путем. Кирхгоф и Бунзен показали в 1859 г. что темные линии в ярком

непрерывном спектре образуются при помещении охлажденных паров и газов между источником света и спектроскопом. Темные линии появятся на тех же местах, которые были бы заняты яркими линиями паров и газов, если бы они сами являлись единственными источниками света. Как подтверждение этому открытию, в одной из последующих глав будет показано, что спектр внешнего солнечного слоя, называемого «хромосферой» тогда, когда он бывает виден при солнечном затмении, представляет собою блестящий линейчатый спектр, который является в точности обращенным спектром фотосферы. Тот слой, который обусловливает возникновение темных линий, соответственно этому называется «обращающим слоем».

Таким образом газы, находящиеся между наблюдателем и Солнцем, могут производить темные линии поглощения, но с первого взгляда кажется неясным, каково различие влияний солнечных и земных газов. Существует два способа определения принадлежности данной фраунгоферовой линии Солнцу или земной атмосфере. Первый способ состоит в проведении наблюдения над ее интенсивностью по отношению к другим линиям при низком и высоком положениях Солнца над горизонтом. Атмосферные, или как их еще называют «теллурические», линии всегда усиливаются при низком положении Солнца, потому что слой воздуха, проходимый лучами Солнца, тогда толще. Второй и лучший метод распознавания линий состоит в том, что лучи от западного и восточного краев изображения Солнца одновременно направляются на щель спектроскопа; тогда образуются два налагающихся спектра — один от лучей, падающих с восточного края, другой — с западного. Теллурические линии будут занимать одинаковое положение в обоих спектрах, но солнечные линии будут сдвинуты одни относительно других вследствие вращения Солнца, которое производит известный эффект Допплера. Мы можем это видеть на рис. 14 (стр. 55), где показана полоса В кислорода и вблизи нее несколько других линий Солнца; фотография получена Сент-Джоном на обсерватории на горе Вильсона при особенно благоприятных условиях.

Таблицы спектра Роуланда

Солнечный спектр был сфотографирован при большой дисперсии многочисленными наблюдателями, но наиболее замечательные фотографии были получены Роуландом. Он опубликовал в 1895 г. в одном из первых номеров «Астрофизического журнала» («Astrophysical Journal») свою крупную работу «Предварительная таблица длин волн солнечного спектра», которая и теперь является основой в исследованиях Солнца и звезд. Роуланд указывает в своем вступлении, что им сфотографирован дуговой спектр всех тогда известных элементов, кроме галлия, в связи с солнечным спектром, и что работа по отождествлению линий солнечного спектра с линиями дуги послужит работой последующих лет. Совсем недавно Сент-Джон на обсерватории на горе Вильсона сделал многое для увеличения точности измерения длин волн солнечного спектра и закончил отождествление его линий со спектральными линиями химических элементов. В «Предварительные таблицы» Роуланда занесено 14 000 линий. Их длины волн нанесены на 7 таблицах с точностью до тысячных долей ангстрема. Для каждой линии дана ее интенсивность. Интенсивности оцениваются от единицы для линии, которая слабо видна на снимках спектра Роуланда, до 1 000 для чрезвычайно интенсивных линий H и K кальция. В другую сторону от единицы показатели интенсивности снижаются до 0000, обозначая линии, видимые все труднее и труднее.

Яркие линии солнечного спектра, уже давно обозначенные буквами латинского алфавита, следующие (см. табл. 3, стр. 96).

Около одной трети 14 000 солнечных линий было отождествлено Роуландом и приписано различным химическим элементам. В большинстве случаев одна линия могла быть приписана нескольким элементам сразу. В таких случаях совпадение линий с этими элементами, вероятно, не всегда является точным, и, несмотря на большую дисперсию, многие линии частично перекрываются. Исследования линейчатых спектров, проведенные при более высокой дисперсии,

Таблица 3

Главные линии солнечного спектра

Линия	A	a	B	C(Hα)	D_2	E
Исправленная длина волны [1]	7593,84[2]	7184,57	6869,970	6562,835	5889 975	5269,5[illegible]
Элемент	Кислород[3]	Вода[3]	Кислород[3]	Водород	Натрий	Железо
Линия	**b**	**F(Hβ)**	**G(Hγ)**	**H**	**K**	
Исправленная длина волны [1]	5183,620	4861,350	4340,471	3968,491	3933,680	
Элемент	Магний	Водород	Водород	Кальций	Кальций	

[1] Соответственно таблице поправок, данной ниже.
[2] Край полосы.
[3] Линия земного происхождения.

показали, что во многих случаях кажущиеся единичными линии отдельных элементов на самом деле разделяются на группы. Но даже при такой высокой разрешающей силе вряд ли вообще удастся отделить одну от другой перекрывающиеся линии таблицы Роуланда, так как, благодаря давлению или другим причинам, некоторые линии так расширены, что накладываются одна на другую. В течение нескольких лет Локайер (Lokyer) поддерживал гипотезу о том, что элементы имеют общие составные части, которые дают общие линии в спектрах, но эта так называемая гипотеза «основной линии» теперь не находит подтверждения. Нижепомещенная таблица отождествлений Роуланда заимствована с незначительными изменениями из книги Юнга «Солнце».

Химические элементы, обнаруженные и не обнаруженные на Солнце

В первом столбце табл. 4 перечислены химические элементы, обнаруженные Роуландом, как несомненно

существующие на Солнце, расположенные по интенсивности их солнечных линий и с указанием их атомных весов. Во втором столбце они расположены по числу их линий в солнечном спектре с указанием этого числа. Звездочка * указывает на то, что элемент не был обнаружен в спектре хромосферы, полученном во время полных солнечных затмений.

Таблица 4

Химические элементы, обнаруженные на Солнце

1.	Кальций	(40,07)	Железо (2 000 или более)
2.	Железо	(55,84)	Никель
3.	Водород	(1,008)	Титан
4.	Натрий	(23,00)	Марганец
5.	Никель	(58,68)	Хром
6.	Магний	(24,32)	Кобальт
7.	Кобальт	(58,97)	Углерод (200 или более)
8.	Кремний	(28,1)	Ванадий
9.	Алюминий	(27,0)	Цирконий
10.	Титан	(48,1)	Церий
11.	Хром	(52,0)	Кальций (75 или более)
12.	Стронций	(87,63)	Неодимий
13.	Марганец	(54,93)	Скандий
14.	Ванадий	(51,0)	Лантан
15.	Барий	(137,37)	Иттрий
16.	Углерод	(12,00)	Ниобий
17.	Скандий	(45,1)	Молибден
18.	Иттрий	(89,33)	Палладий
19.	Цирконий	(90,6)	Магний (20 или более)
20.	*Молибден	(96,0)	Натрий (11)
21.	Лантан	(139,0)	Кремний
22.	*Ниобий	(93,1)	Водород
23.	*Палладий	(106,7)	Стронций
24.	*Неодим	(144,3)	Барий
25.	*Медь	(63,57)	Алюминий (4)
26.	Цинк	(65,37)	Кадмий
27.	Кадмий	(112,40)	Родий
28.	Церий	(140,25)	Эрбий
29.	*Бериллий	(9,1)	Цинк
30.	*Германий	(72,5)	Медь (2)
31.	Родий	(102,9)	Серебро
32.	Серебро	(107,88)	Бериллий
33.	Олово	(118,7)	Германий
34.	Свинец	(207,20)	Олово
35.	Эрбий	(167,7)	Свинец (1)
36.	*Калий	(39,10)	Калий

7 Зак. 3638. Аббот

Кроме этих вышеперечисленных элементов несомненно дают солнечные линии гелий (4,0) и галлий (70,1), хотя линии гелия непостоянны и его темные линии появляются в солнечном спектре временами. Наблюдаются еще очень слабые темные солнечные линии, близкие или в точности совпадающие по своему положению с яркими дуговыми линиями следующих элементов.

Таблица 5

Химические элементы, присутствие которых на Солнце сомнительно

Рутений . . . . (101,7)	Индий . . . . (114,8)	Тантал . . . (181,0)
Вольфрам . . . (184,0)	Осмий . . . (190,9)	Иридий . . (193,1)
Платина . . . (195,0)	Ртуть . . (200,0)	Таллий . . . (204,0)
Висмут . . . . (208,0)	Торий . . (232,42)	Уран . . . . (238,5)

Средний атомный вес этих элементов равен 186,95

Линии важнейших элементов, — элементов группы галоидов: фтора, хлора, брома, иода; элементов группы кислорода: кислорода *, серы, селена и теллурия; наконец, элементов группы азота: азота, фосфора, мышьяка, сурьмы (вероятно и висмута), — оказались не обнаруженными ни в спектре фотосферы, ни в спектре хромосферы. Этот удивительный пробел охватывает почти все выдающиеся «отрицательные» элементы; кроме них в солнечном спектре отсутствует бор. Дальнейшие замечания по этому вопросу будут сделаны позднее.

Значительный интерес представляет связь между атомным весом элементов и интенсивностью их солнечных линий. Разделяя 36 элементов табл. 4 по порядку их интенсивности на четыре группы, по девять

* С тех пор как это было написано, Сент-Джон установил, что триплет слабых линий, приписываемых кислороду, находящийся перед A в крайней красной части спектра, обнаруживает относительное смещение на краю Солнца. Отсюда мы как будто можем принять, что в солнечном спектре представлен чистый кислород. Кислород и азот в соединениях дают полосы солнечного спектра.

в каждой, получаем следующие средние атомные веса:

Элементы	Средний атомный вес
1—9	35,26
10—18	64,04
19—27	101,27
28—36	107,25

В последнюю группу при таком делении попадает бериллий (9,1) и калий (39,10). Первый имеет две, а последний одну отождествленную линию, и так как эти линии к тому же очень слабы, то нет ничего невозможного в том, что при дальнейших исследованиях эти элементы выпадут из указанной группы *. Если так, то средний атомный вес оставшихся семи элементов будет 131,00. Во второй группе при таком распределении оказывается углерод (12,00), но по справочнику Кайзера (Kayser) солнечные линии «углерода» принадлежат соединениям углерода высокого молекулярного веса. Не менее интересен тот факт, что существование большинства элементов группы платины и нескольких других элементов с очень высоким атомным весом, распространенных на Земле, на Солнце сомнительно, несмотря на то, что в дуге они дают яркие линии. Исчерпывающее значение этих соотношений будет рассмотрено позднее в гл. VI, но здесь можно сказать, что уменьшение интенсивности с возрастанием атомного веса, повидимому, зависит от глубины залегания этих газов ниже поверхности Солнца. Мы можем предположить, что интересные элементы радий и уран не могут дать линий в солнечном спектре, даже если эти элементы существуют на Солнце, вследствие их высоких атомных весов.

Элемент кислород на Солнце несомненно существует, потому что полосы окиси титана резко выдаются в спектре солнечных пятен. Можно думать, что хорошо известные линии кислорода сами по себе были бы найдены в спектре фотосферы, если бы сама земная атмосфера не содержала бы кислорода столько, что производимые ею кислородные линии перекрывали бы по-

* Кайзер и Рунге сомневаются в существовании линий калия в спектре фотосферы.

добные линии солнечного происхождения. Однако фотографии спектра двух противоположных краев Солнца дают отрицательные указания, в то время как в их спектрах все солнечные линии смещены вследствие эффекта Допплера, — хорошо известные линии кислорода такого смещения не обнаруживают. Азот, в изобилии находящийся в земной атмосфере, ведет себя подобным же образом. Существенная особенность солнечного спектра состоит в том, что очень немногие из так называемых отрицательных, т. е. неметаллических, элементов опознаны в нем. Так, основная галоидная группа элементов, которая включает столь обычные элементы, как хлор и бром, не обнаружена, то же относится к элементу сера.* Этот пробел чрезвычайно замечателен, он будет рассмотрен в гл. VI.

Как бы то ни было в лаборатории часто оказывается, что спектр смеси или соединения двух элементов способен показать один из них преобладающим или даже показать исключительно один из них. Особенно часто металл исключает неметалл. Но, несмотря на то, что кислород и гелий, которые, хотя и существуют на Солнце, но дают лишь слабый эффект в солнечном спектре, они весьма ярко вырисовываются в спектрах многих звезд. Так как кислород несомненно присутствует в солнечных пятнах в виде окислов и азот в виде циана, то, хотя они и не дают своих характерных линий, как элементы**, оба упомянутых элемента могут присутствовать на Солнце, не давая своих спектральных линий.

Некоторые из «неизвестных» линий теперь приписаны определенным элементам, но громадное число линий определенных Роуландом, пока еще остается неотождествленным. Значительная часть их, однако, очень слаба. Возможно, что в ближайшее десятиле-

* В 1933 г. немецкие ученые Бартельт и Экштейн обнаружили в солнечном спектре ряд слабых фраунгоферовых линий, принадлежащих сере. — *Прим. ред.*

** Три слабые линии, приписываемые кислороду, как бы то ни было, теперь известны как солнечные. См. примечание на стр. 98.

ние многие из них будут отождествлены с линиями спектра искры или с линиями спектра дуги.

Поправки к длинам волн таблиц солнечного спектра Роуланда

Было показано, что длины волн, данные Роуландом, должны быть изменены. Его система основывалась на измерениях несколькими наблюдателями длины волны желтой линии натрия. Измерения интеферометром, произведенные Майкельсоном (Michelson), Фабри (Fabry), Перо (Perot), Бюиссоном (Buisson) и другими экспериментаторами, показали, что длина волны линии, принятая Роуландом, должна быть уменьшена приблизительно на $^1/_{30\,000}$. Это изменение, хоть и значительное с точки зрения длины волны, имело бы незначительные последствия, если бы система Роуланда была бы однородной. Но ниже будет показано, что разности от истинной шкалы отличаются для различных участков спектра примерно следующим образом (табл. 6).

Это разногласие следует приписать главным образом некоторым недостаткам решетки как средству измерения длин волн, а не неточности работы Роуланда, хотя он и пренебрегал некоторыми малыми, но, строго говоря, заметными поправками. Поэтому было предположено путем международной кооперации установить согласованную и высоко точную систему длин волн. Результаты, еще не совсем законченные, едва ли заметно отличаются от результатов, приведенных выше в таблице поправок к длинам волн Роуланда.

Точная таблица длин волн солнечного спектра и длин волн линий всех химических элементов составляет основу всех современных спектроскопических исследований. Чем является большой каталог звезд для астронома, тем же являются таблицы длин волн для астрофизика. На них основывается исследование движений и давления на Солнце и звездах, наличия элементов, существования магнитных полей, возможности явлений аномальной дисперсии и других условий, господствующих на Солнце и звездах.

Таблица 6

Поправки к длинам волн таблиц солнечного спектра Роуланда

Длины волн . . .	3 000	3 200	3 400	3 600	3 700
Поправки	—0,106	—0,124	—0,148	—0,155	—0,140
Длины волн . . .	3 900	4 100	4 300	4 500	4 700
Поправки	—0,144	—0,152	—0,161	—0,172	—0,179
Длины волн . . .	4 900	5 100	5 300	5 400	5 600
Поправки	—0,176	—0,170	—0,172	—0,212	—0,218
Длины волн . . .	5 800	6 000	6 200	6 400	6 500
Поправки	—0,209	—0,213	—0,212	—0,209	—0,210

Уровни

В общем спектре солнечной фотосферы мы имеем указания на условия, которые существуют в слое практически у самой поверхности Солнца, потому что, как показывают лабораторные опыты, достаточно лишь незначительного количества поглощающего газа, чтобы произвести темные линии в спектре. Но приходится думать, что существует некоторая разность средних уровней в положении слоев, которые производят линии различных элементов и даже различные линии одного и того же элемента. Слои Солнца, который дает начало темным фраунгоферовым линиям, хотя и тонкий по отношению к солнечному радиусу, может мыслиться сложенным из нескольких слоев различных уровней. Линии кальция, нужно думать, представляют более высокий уровень, чем линии железа, а линии водорода еще более высокий. Далее, так как волны большей длины часто легче испускаются элементом, чем короткие, т. е. излучаются при более низких температурах, то может случиться, что красные линии неко-

торого элемента в общем представляют более высокий уровень, чем фиолетовые линии того же самого элемента. Непрерывный фон солнечного спектра представляет более низкий средний уровень, чем уровень спектральных линий, что, конечно, вытекает из принципа Кирхгофа и Бунзена. Однако непрерывный фон представляет меньше возможностей для исследования, чем линии, так что соотвествующий ему уровень может быть меньше изучен, чем так называемый «обращающий» слой, в котором образуются линии Сами по себе, без контраста, линии нельзя рассматривать как темные. Напротив, если фон черный, то они должны быть ослепительно блестящи; но так как они образуются во внешних, более холодных слоях Солнца, то они менее ярки, чем спектральный фон, на котором они наблюдаются. Свет от более глубоких слоев Солнца не может выйти, если длина волны претерпевает там сильное поглощение, как это и имеет место в случае фраунгоферовых линий.

Давление

Эффект давления действует двояко. Он расширяет линии и смещает их по длине волны. Он вообще не зависит от того, сжимается ли газ массой того же самого газа, или массой газа иного состава. Сдвиг линий, обусловленный давлением, может быть отличен от допплеровского смещения спектральных линий. Это происходит потому, что сдвиг линий хотя вообще и увеличивается с возрастанием длины волны, но оказывается различным у различных линий одного и того же элемента, а у различных элементов разнится на произвольные величины, оставляя в то же время некоторые линии практически не смещенными. В случае допплеровского смещения сдвиг, обусловленный скоростью, хотя и не одинаков в различных частях спектра, но величина его пропорциональна длине волны. Был произведен ряд исследований для определения давления, господствующего в обращающем слое. Джеуэлл (Jewell) в 1896 г. в результате исследований солнеч-

ного спектра, полученного решеткой, нашел, что у большинства линий длина волны оказалась на несколько тысячных ангстрема больше, чем у соответствующих линий спектра дуги при атмосферном давлении. Он нашел, что многие аномальные сдвиги линий, для которых делались шаткие попытки объяснения, оказались обусловленными давлением.

В 1909 г. Фабри и Бюиссон исследовали большое число линий железа, главным образом между длинами волны 4 000 и 4 500 Å, методом интерференции и открыли небольшие сдвиги в том же самом направлении, как нашел и Джеуэлл. Они исследовали также поведение линий в аномальных случаях и объяснили их как обусловленные несимметричным расширением вследствие давления.

Из этих ранних исследований, предшествовавших 1910 г., выведены заключения, что обращающий слой железа и сходных элементов находится под давлением от 4 до 7 атмосфер. Но позднейшие работы Эвершеда (Evershead), Сент-Джона (St. John) и других и в особенности изучение зависимости между температурой и интенсивностью спектральных линий привели к значительно более низкой величине давления. Этот последний способ был разработан Фоулером (Fowler), Милном (Milne), Менцелом (Menzel) и мисс Пэйн (miss Payne). В настоящее время принимается, что нигде в обращающем слое нет давления выше 0,0001 ат. Этот результат согласуется также с теми наблюдениями, согласно которым линии, которые размыты в спектре дуги, но которые становятся резкими в высоком вакууме, оказываются резкими также в спектре Солнца.

Конвекционные токи

Тщательные измерения Адамса указывают на наличие восходящих движений со скоростью от 0,1 до 0,3 *км/сек* в том слое, где образуются линии поглощения металлов. С первого взгляда этот вывод кажется мало приемлемым, потому что поднимающееся вещество, несомненно, должно вновь опускаться и ...

[illegible] предположить, что эффект Допплера, обусловленный подъемом вещества, был бы таким же, как обусловленный его падением. Но в этом отношении мы должны принять во внимание температуру восходящих и нисходящих токов. Адамс ссылается на неопубликованные опыты Фокса (Fox), которые указывают, что более яркие площади или «гранулы» солнечной поверхности дают сильный спектр «подчеркнутых» линий, т. е. линий высокой температуры, а темные пространства между ними, или поры имеют спектр дуги, т. е. линий низкой температуры. Адамс нашел, что максимальную скорость подъема дают «подчеркнутые» линии. Он приводит доводы в пользу того, что в спектре должны иметь преобладающее влияние горячие и яркие части поверхности Солнца, а поскольку они указывают на поднятие, постольку и весь спектр дает такую же картину. Подобный же аргумент Эвершед выдвинул в 1902 г. для объяснения особенностей «спектра вспышки».

Есть основание предполагать, что вертикальная циркуляция может происходить на Солнце, потому что внутренние его части горячее внешних: последние постоянно охлаждаются путем излучения и, становясь при этом плотнее, опускаются. Скорости от 0,1 до 0,3 *км/сек*, конечно, превосходят известные нам скорости ветра на Земле. Сверх того, на Земле вертикальная циркуляция и ветры в значительной степени обусловлены различием температурных условий, зависящих от смены дня и ночи и лета и зимы. Поскольку на Солнце нет ни ночи, ни дня, ни лета, ни зимы, его можно рассматривать как имеющим в этом отношении почти установившееся состояние; результаты же Адамса, принимая во внимание высокую температуру Солнца, не представляют ничего удивительного.

Совсем недавно Сент-Джон опубликовал чрезвычайно точное исследование смещения линий кальция H и K и выведенной из этих смещений циркуляции кальция на Солнце. Он различал три части в каждой из этих широких линий, которые он обозначал индексами 1, 2, 3. K_3 — это узкая темная линия посредине,

K_2 — яркие линии по обеим сторонам от K_3 и K_1 — темные широкие размытые внешние края области K. То же относится и к линии H. Сент Джон приходит к следующим заключениям:

«Пары кальция, дающие в солнечном спектре полосу поглощения K_3, имеют над общей поверхностью Солнца нисходящее движение в среднем со скоростью 1,14 *км/сек*... Пары кальция, которым принадлежит яркая линия излучения K_2, имеют восходящее движение по отношению к общей поверхности Солнца в среднем 1,97 *км/сек*... Длины волн K_2 (среднее из обеих частей K_2) и K_3, приведенные к краю, составляют 3 933,667 и 3 933,665 Å соответственно. Соответственная длина волны спектра дуги при атмосферном давлении равна 3 933,667 Å. Более короткую длину волны линии K_3 можно рассматривать как указание на существование несколько меньшего давления в верхнем поглощающем слое, хотя ничтожность этого различия не позволяет сделать уверенного заключения... В случае промежуточного и наиболее высокого уровня паров кальция отсутствуют токи с заметными скоростями, параллельные солнечной поверхности... Ширина линий H_3 и K_3 в центре диска по сравнению с шириной этих линий в дуге указывает на наличие крайне малого количества паров кальция на верхнем уровне солнечной атмосферы... Средняя высота, где еще ощущается кальций в атмосфере, указываемая радиально поставленной щелью, составляет около 5 000 *км* над фотосферой. Толщина верхнего поглощающего слоя равна приблизительно 1 500 *км*. Если считать толщину обращающего слоя равной 700 *км*, то толщина излучающего слоя должна равняться приблизительно 3 000 *км*. Линия K становится заметной на высоте около 500—600 *км* над тем уровнем, на котором линия H перестает быть видимой... Смещение для линии H_3 между краем и центром диска равно 0,015 Å, что согласуется с величиной смещения, полученной для линии K_3».

Ниже будет приведен интересный результат, касающийся вращения Солнца, полученный по измерениям линии K_3.

Никоим образом нельзя думать, что факт мощного переноса тепла изнутри газообразного тела Солнца наружу, необходимого для возмещения потери его через лучеиспускание в пространство, заставляет предполагать наличие сильной вертикальной циркуляции. При низких температурах, как, например, при переносе от тела, находящегося при температуре кипения, к телу, находящемуся при температуре замерзания, конвекция, как средство переноса тепла, имеет большее значение, чем лучеиспускание; но этого, вероятно, нет при температурах, господствующих внутри Солнца. Действительно, излучение возрастает как четвертая степень температуры, а конвекция усиливается, несомненно, гораздо медленнее. Поскольку материя Солнца несколько прозрачна, мы должны предположить, что теплота изнутри Солнца к его поверхности доставляется для возмещения потери энергии вследствие лучеиспускания в пространство, преимущественно путем внутреннего излучения, путем поглощения на коротком отрезке пути к наружной поверхности и вторичного излучения, которое почти уравновешивает поглощение. Этот процесс повторяется необходимое число раз и за исключением весьма короткого времени, идущего на поглощение и повторное излучение, осуществляется со скоростью порядка 300 000 *км/сек* и производит мощную передачу энергии из недр Солнца к его поверхности.

Если мы согласимся с Адамсом, что эффективная скорость поднятия равна в среднем 0,12 *км/сек* и что, вызываемое этим поднятием смещение солнечных линий со средней длиной волны 4 200 Å составляет 0,0015 Å в сторону фиолетового конца спектра, то к результатам, полученным Фабри и Бюиссоном, приходится придать поправку, увеличивающую смещения солнечных линий к красному концу спектра по сравнению со спектром дуги. Адамс исследовал чисто диференциальным методом относительное смещение линий центра Солнца и его краев и нашел, что, после исправления его измерений за предполагаемую скорость подъема, в спектрах краев остаются хорошо выраженные смещения к красному концу, которые Адамс

приписал эффекту, вызванному давлением. Линии водорода, натрия, кальция и магния почти не обнаруживают смещения. Линии титана, ванадия и скандия обнаруживают умеренное смещение, а линии железа и никеля смещаются значительно, в среднем на 0,007 A. Линии элементов высокого атомного веса обнаруживают очень малые смещения, равно как и линии, усиливающиеся на краях диска. Подчеркнутые линии, как самостоятельный класс линий, обнаруживают максимальные смещения, повидимому, возрастающие вместе со степенью подчеркнутости некоторых линий. Эти, на первый взгляд, сильно противоречивые наблюдения прекрасно гармонируют между собой, если согласиться с остроумными рассуждениями Адамса, которые мы оставляем до главы о теории Солнца. Адамс подтвердил наблюдения Фабри и Бюиссона, обнаруживающих, что фиолетовые края линий остаются не смещенными

Спектр солнечного края

Спектр солнечного края слабее, чем спектр центра Солнца, как это можно было ожидать по общему потемнению Солнца по направлению к его краю. При фотографировании в фиолетовых лучах для солнечного края требуется экспозиция в 8 или в 10 раз большая, чем для центра Солнца. Это отношение уменьшается до 1 : 4 или 1 : 5 для красных лучей. Но помимо этого общего эффекта фраунгоферовы линии сильно изменены на краю Солнца, особенно в фиолетовой части спектра. Более интенсивные линии в спектре края почти полностью теряют свою размытость или свои «крылья» по бокам; между тем в спектре солнечных пятен, как увидим в гл. V, крылья особенно отчетливо вырисовываются. В противоположность этому, ясно выраженному отличию от спектра солнечных пятен, спектр края имеет сходство со спектром пятен в том, что изменения относительной интенсивности линий в них сходны: линии, усиленные в пятнах, усиливаются (хотя и в меньшей степени) на краю солнечного диска, и обратно. У края, как и в пятнах,

так называемые искровые или подчеркнутые линии часто ослабевают. Наоборот, линия водорода Hα расширяется, и повидимому, и усиливается на краю Солнца, хотя она становится уже и слабее в пятнах.

Таблица 7

Распределение излучения по солнечному диску

Доли радиуса / Длины волны в μ	0,00	0,40	0,55	0,65	0,75	0,825	0,875	0,92	0,95
0,323	144	129	120	112	99	86	76	64	49
0,386	338	312	289	267	240	214	188	163	141
0,433	456	423	395	368	333	296	266	233	205
0,456	**515**	**486**	455	428	390	351	317	277	242
0,481	511	483	**456**	**430**	**394**	**358**	**324**	**290**	**255**
0,501	489	463	437	414	380	347	323	286	254
0,534	463	440	417	396	366	337	312	281	254
0,604	399	382	365	348	326	304	284	259	237
0,670	333	320	308	295	281	262	247	227	210
0,699	307	295	284	273	258	243	229	212	195
0,866	174	169	163	159	152	145	138	130	122
1,031	111	108	105,5	103	99	94,5	90,5	86	81
1,225	77,6	75,7	73,8	72,2	69,8	67,1	64,7	61,6	58,7
1,655	39,5	38,9	38,2	37,6	36,7	35,7	34,7	33,6	32,3
2,097	14,0	13,8	13,6	13,4	13,1	12,8	12,5	12,2	11,7
Длины волн максимума	0,458	0,467	0,471	0,471	0,478	0,483	0,489	0,496	0,505

Изменение яркости Солнца

Изменение яркости Солнца от центра к краю значительно успешнее определяется с помощью болометра, чем с помощью фотографии. На рис. 31 изображены кривые распределения яркости вдоль диаметра солнеч-

ного диска для лучей различных длин волн. Читате , может заметить, насколько велик контраст яркост между центром и краем для коротких длин во н Это показано также в табл. 7, которая дает ярко т

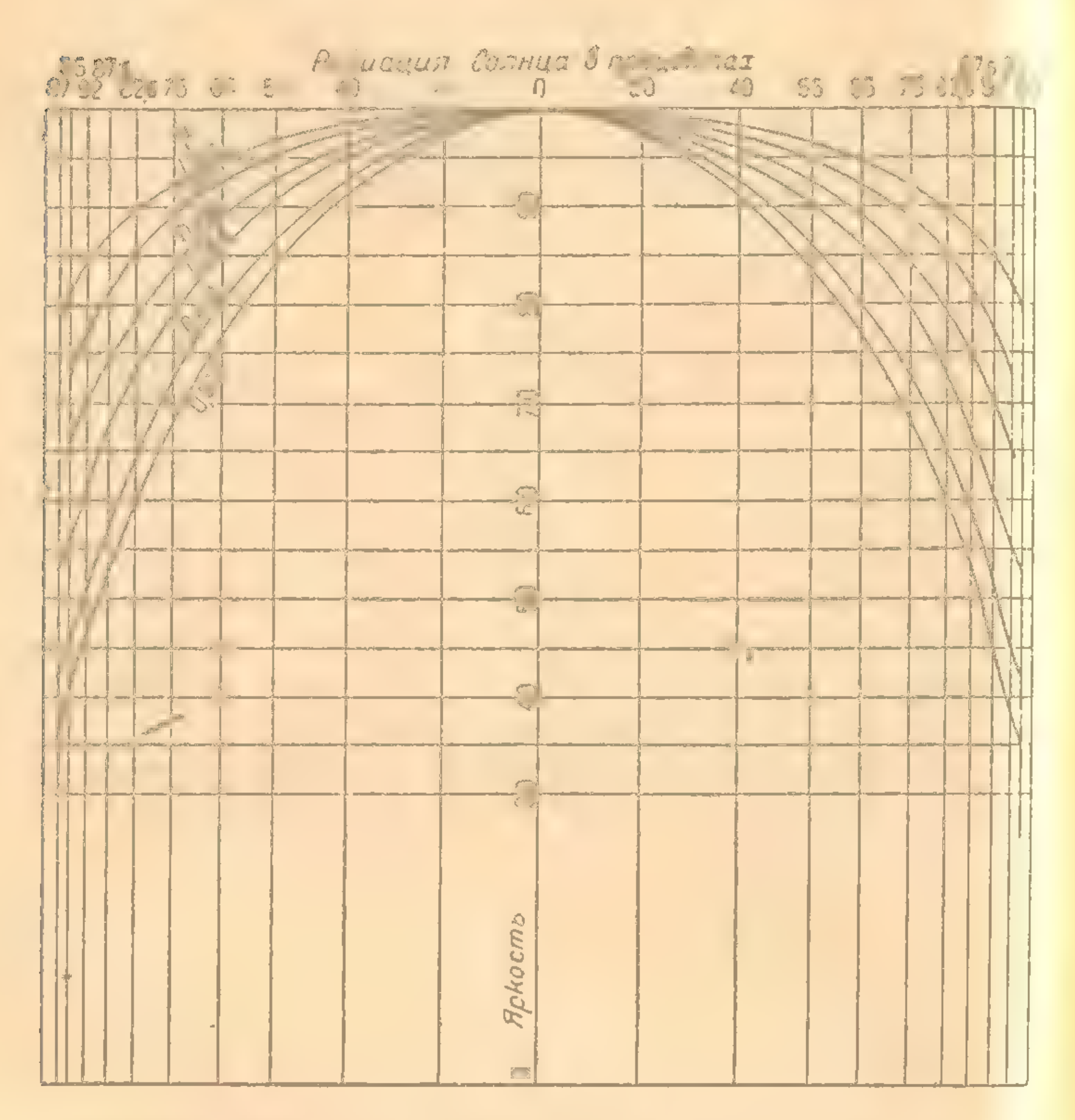


Рис. 31. Распределение яркостей на солнечном диске.

на различных расстояниях от центра Солнц , выр женных в сотых долях его радиуса. Данные это таблицы совпадают с кривыми, изображенными рис. 31 и 32.

Просматривая строки таблицы слева направо, чита тель может заметить убывание яркости от центр

Солнца к краю до 0,95 радиуса*. По столбцам результаты расположены в порядке возрастания длин волн и числа подобраны так, что, беря какой-нибудь отдельный вертикальный столбец, например для 0,75 радиуса, читатель может найти для отдельной зоны Солнца распределение яркости в однородной шкале длин волн для нормального спектра вне земной атмосферы.

Данные, касающиеся распределения яркости по радиусу для длины волны 0,323 μ, заимствованы у Шварцшильда (Schwarzschild) и Виллигера (Villiger), получивших их путем фотографирования изображения Солнца, образованного посеребренной линзой. Остальные данные представляют результаты болометрических измерений Аббота и Фоуля.

В табл. 7 наибольшее число в каждом столбце отмечено жирным шрифтом. Но интервалы таблицы недостаточно малы для того, чтобы таким способом можно было точно показать смещения волны соответствующей наибольшей радиации, исходящей от точек, все более и более удаленных от центра солнечного диска. Нанося эти величины на график, находим, что истинные значения длины волн наибольшей интенсивности представляются числами, данными в нижней строке таблицы. Это показывает смещение максимума излучения от 0,458 μ в центре солнечного диска до 0,505 μ на расстоянии 0,95 радиуса от центра. Мы увидим, что подобное же смещение волны максимального излучения имеет место для ядра солнечного пятна по сравнению с фотосферой. Прерывистая кривая на рис. 32 показывает распределение излучения в спектре для света от всего солнечного диска в целом, если на него смотреть вне пределов земной атмосферы. Аналогичные кривые на рис. 32 построены для центра солнечного диска и для точек, соответствующих 0,55, 0,825, 0,95 радиуса от центра. Отдельные фраунгофе-

---

* У всех кривых, изображенных на рис. 31, имеется тенденция к менее быстрому падению яркости между 0,95 и 0,97 радиуса, чем можно было бы ожидать. Возможно, что это зависит от ошибок.

ровые линии при построении этих кривых не приняты во внимание, хотя в совокупности они несомненно влияют на форму кривых, в особенности в области более коротких волн.

Температура Солнца и методы ее определения

Первый метод. Пять кривых энергии, изображенных на рис. 32, представляют интерес в том отношении, что они показывают вероятную температуру фотосферы.

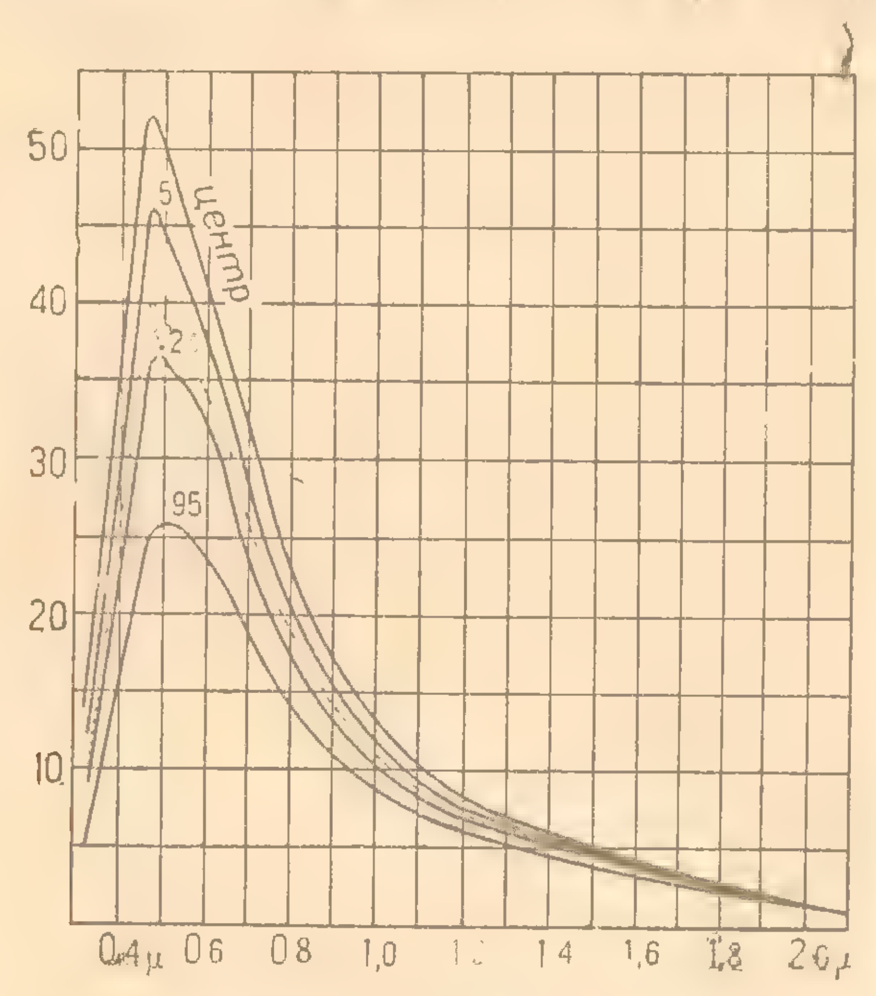


Рис. 32. Распределение энергии в спектре для разных точек солнечного диска.

Из закона смещения Вина $\lambda_{max} T = 2930$, приведенного в гл. II, мы, внеся указанные значения λ_{max}, можем найти абсолютные температуры, при которых совершенный радиатор дал бы максимум излучения

такой же длины волны. Температуры эти приведены в табл. 8.

Ординаты пяти кривых, изображенных на рис. 32, пропорциональны интенсивности, а абсциссы пропорциональны длине волны. Поэтому площади, ограничиваемые этими кривыми, пропорциональны интенсивности излучения всех длин волн вместе взятых, испускаемых избранным участком солнечного диска. Если полное излучение может быть сравнено с излучением совершенного радиатора, то по закону Стефана оно пропорционально четвертой степени температуры излучающего тела. Отсюда следует, что корни четвертой степени из площадей, ограниченных пятью приведенными кривыми, должны быть обратно пропорциональны длинам волны максимального излучения. Результаты таких вычислений приведены в четвертой и шестой строках табл. 8.

Таблица 8

Соотношение в распределении энергии в спектре на солнечном диске

Положение	Весь диск	Центр	0,55	0,825	0,95
Длина волны максимума в μ . .	0,468	0,458	0,471	0,483	0,505
$\frac{2930}{\lambda_{max}}$	6 170°	6 300°	6 130°	5 980°	5 710°
Отношение максимумов . .	1,079	1,104	1,073	1,047	1,000
Отношение площадей	1,407	1,620	1,476	1,249	1,000
Отношение корней четвертой степени из площадей	1,090	1,128	1,102	1,057	1,000

Наибольшее расхождение между отношением максимумов и последней строчкой таблицы не превосходит 2,5%.

Второй метод. Другой метод оценки вероятной солнечной температуры заключается в том, что пробуют возможно лучше подогнать распределение энергии на всем протяжении солнечного спектра к распределению, вычисленному при помощи формулы Вина-Планка, приведенной в гл. II. Обращаясь к рис. 32 (стр. 79), читатель найдет в кривых *B* и *A* распределение энергии согласно закону Вина-Планка в спектре совершенного радиатора при 6 200 и 7 000 абсолютной температуры, а в кривой *C* — спектр энергии для солнечной поверхности. В вычислениях не приняты во внимание относительное значение постоянной c_1 и солнечная постоянная радиации. Кривая 6 200 вновь воспроизведена кривою *B′* в большем масштабе, а наблюденная кривая воспроизведена кривой *C′* в масштабе, близком к масштабу *B′*. Наблюденная кривая падает ниже вычисленной в ультрафиолетовой части спектра, но это расхождение и надо было ожидать, отчасти потому, что ультрафиолетовый солнечный спектр изобилует линиями избирательного поглощения.

С другой стороны, наблюденная кривая поднимается выше вычисленной в инфракрасной части, на что неоднократно указывал проф. Бигелоу (Bigelow). Только что было указано и подробно будет сообщено в гл. VI о том, что лучи от центральной части солнечного диска кажутся нам исходящими от источника с более высокой температурой, чем лучи от солнечного края. Согласно объяснению этого явления, о котором будет говориться дальше в гл. VI, можно было бы ожидать, что солнечные лучи большой длины волны кажутся происходящими от источника с более высокой температурой, чем лучи более коротких длин волн. Если это так, то становится понятным, почему инфракрасные части кривых *C* и *C′* (рис. 23) поднимаются соответственно выше кривых *A*, *B* и *B′*; кривые *C* и *C′* не представляют спектра источника одной и той же температуры. Их инфракрасные части соответствуют гораздо более горячим источникам, чем их

видимые ультрафиолетовые части*. Однако очевидно, что кривая 7 000° за исключением ультрафиолетовой части ближе подходит к наблюдениям, чем кривая 6 200°. Большое расхождение в ультрафиолетовых лучах, вероятно, только отчасти обязано общему стремлению Солнца к более низкой температуре для лучей с короткой волной, но в гораздо большей степени обязано скоплению в этой части спектра фраунгоферовых линий, которые, хотя и не показаны на чертеже отдельно, но чрезвычайно сильно влияют на форму кривой.

Третий метод. Следующие факты, повидимому, указывают на существование более низкой температуры Солнца по сравнению с вычисленной нами выше. Мы можем вычислить кажущуюся температуру Солнца по формуле:

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = -5 \lg \frac{\lambda_1}{\lambda_2} + \frac{c_2 \lg e}{T} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right),$$

как это недавно было сделано для большого числа звезд Вильзингом (Wilsing) и Шейнером (Scheiner). Здесь E_1 и E_2 означают интенсивность энергии двух длин волн λ_1 и λ_2, c_2 — постоянная, для которой Вильзинг и Шейнер принимают значение 14 200, и T — абсолютная температура. Взяв значения интенсивности в пределах данного ряда длин волн и пользуясь методом наименьших квадратов, мы находим:

Пределы длин волн в μ	0,30—0,50	0,35—0,50	0,50—0,70	0,80—1,50	1,00—1,50	1,10—1,50
Температуры	3 932°	5 142°	6 900°	4 493°	4 006°	3 840°

Падение вычисленных температур для лучей с большой длиной волны обязано тому факту, что наблю-

* Точность наблюдений кривой для длин волн больших 2 μ в значительной степени понижается поглощением света водяными парами земной атмосферы, поэтому из факта падения кривой в этой области нельзя еще делать каких-либо заключений.

даемая кривая на рис. 23 поднимается медленнее для инфракрасных лучей и быстрее для коротких длин волн, чем кривая 7 000°. Но как мы уже сказали, и согласно тому объяснению, которое будет дано в гл. VI, мы можем предположить, что, по мере того как увеличивается длина волны, эффективный источник радиации приближается к внешней поверхности Солнца и поэтому он холоднее. Следовательно, хотя эффективная температура для инфракрасных лучей, повидимому, выше 7 000°, наблюденная кривая распределения энергии в своем максимуме не поднимается до кривой, соответствующей 7 000°. Это происходит от того, что каждая последующая более коротковолновая область спектра относится к более низкой температуре, чем ...

... солнечной энергии склоняет нас к тому выводу, что средняя температура фотосферы безусловно должна быть выше 6 200° и, возможно, должна составлять около 7 000°.

Четвертый метод. В гл. VII мы увидим, что напряжение солнечной радиации на среднем расстоянии Земли от Солнца составляет 1,94 калории на квадратный сантиметр в минуту. По закону Стефана со значением постоянной, данной в гл. II, следует, что совершенный радиатор испускает с каждого квадратного сантиметра своей поверхности лучистую энергию в количестве $82{,}0 \cdot 10^{-12}\, T^4$ *кал* в минуту. Считая радиус Солнца равным 696 000 *км*, а средний радиус земной орбиты равным 149 560 000 *км*, мы получаем следующее уравнение для совершенного радиатора, имеющего одинаковую абсолютную температуру:

$$(696\,000)^2 \cdot 82{,}0 \cdot 10^{-12}\, T^4 = (149\,560\,000)^2 \cdot 1{,}94.$$

Отсюда получаем, что $T = 5\,750°$ абсолютной температуры *. Так как это значение температуры ниже полученных раньше, то мы можем предположить, что постоянная солнечного излучения немного меньше, чем постоянная излучения совершенного радиатора. Джеуэлл так говорит о наблюдении, которое можно рассматривать как подтверждающее, что фотосфера излучает несколько слабее совершенного радиатора:

«Рассмотрев тщательно несколько лучших негативов солнечного спектра, мы нашли, что некоторые из резко ограниченных, ясно выраженных и не перекрытых другими линий железа, хрома, марганца, титана и др. имеют слабую темную тень тотчас же у внешнего края линии. Она очень слаба и трудна для наблюдения (лишь немного темнее **, чем общий фон солнечного спектра), но эта тень происходит от контраста, так как она встречается не всегда. Тень эту очень трудно заметить, но она наблюдалась еще до того, как я нашел это объяснение. Правильное объяснение явления несомненно состоит в том, что эта тень (темная на негативе, но слишком яркая в спектре) является остатками линии излучения, образованной либо в фотосфере, либо в солнечной атмосфере глубже, чем линия поглощения ***.

Это интересное наблюдение, которое было подтверждено Эвершэдом, видимо указывает на то, что в общем радиация фотосферы обнаруживает некоторое отставание по интенсивности от полного излучения «абсолютно черного» тела, несмотря на то, что она относится к более горячим, следовательно, более глубоким слоям, чем область возникновения фраунгоферовых линий. Поэтому может случиться, что глубоко

* Вычисления голландских ученых Миннаэрта и Мульдерса, опубликованные в 1934 г., показывают, что 8,3% энергии солнечной фотосферы поглощено в обращающем слое, в результате которого образовались наблюдаемые фраунгоферовые линии. Исправляя за этот эффект значение солнечной постоянной, эти ученые получают для температуры Солнца по закону Стефана 5 900°. — *Прим. ред.*

** Темнее на негативе, — ярче в самом спектре.

*** Новые наблюдения этого не подтверждают. — *Прим. ред.*

лежащие (однако не самые глубокие) металлические пары дали бы в непосредственной близости к линиям их избирательного излучения более интенсивное излучение, чем слои фотосферы, лежащие глубже и более горячие, но в действительности излучающие слабее.

Итоги Во всех этих оценках температуры приходится исходить из гипотезы, что Солнце является совершенным радиатором. Конечно, это очень неправдоподобно, но если солнечное излучение не совершенно, тогда его температура должна во всяком случае превышать температуру (5 750° абс.), вычисленную при помощи четвертого метода по закону лучеиспускания Стефана. Едва ли менее правдоподобно то, что солнечная температура превышает (6 170° абс.), результат, полученный первым методом по закону смещения Вина. Влияния, ведущие к искажению формы кривой энергии солнечного спектра, повидимому, таковы, что сильнее всего они уменьшают фиолетовую часть и вместе с тем перемещают максимум энергии по направлению к красной части. Отсюда мы заключаем о большой вероятности того, что средняя температура видимой фотосферы превышает 5 750° или даже 6 170° по абсолютной шкале и может достигать 7 000° абс.

Возможно, что читателю захочется задать вопрос, возможно ли существование разности температур между центром и краем видимого диска фотосферы, как это выявлено на табл. 8. Этот вопрос будет обсуждаться дальше в гл. VI. В высшей степени интересное заключение вытекает из сопоставления того факта, что температура фотосферы чрезвычайно высока, а давление в обращающем слое, полученное по спектроскопическим данным, умеренно. Заключение это таково: **все известные нам вещества могут существовать в фотосфере только в виде газов** *. Прежде считали, что фотосфера представляет собою облачный слой. Если это так, то вещества, составляющие ее облака, на Земле не известны.

---

* См. также гл. VI.

Спектрогелиограф *

Когда мы рассматриваем Солнце или визуально, или на непосредственно полученной фотографии, то перед нами находится в высшей степени сложный источник



Рис. 33. Кальциевая спектрогелиограмма, H_2 (Эллерман) 30 апреля 1908 г., $12^ч 53^м$ среднего гриничского времени.

света. Многие химические элементы, находящиеся в слое на много сотен или может быть тысяч километров глубины, участвуют в излучении света. После первых опытов применения спектроскопа и фотографии, в 1890 г. Хэлом и Деляндром (Deslandres), неза-

---

* См. рис. 30, стр. 92.

висимо друг от друга, был поднят вопрос о наблюдении Солнца в свете одного элемента и на одном определенном уровне; в 1891 г. Хэл впервые применил свой спектрогелиограф. Деландр в своем «spectroscope à vitesse» уже давно использовал этот принцип, но применял прерывное, а не плавное перемещение щели по солнечному диску. Впоследствии он сам с большим успехом употреблял спектрогелиограф. Как объяснено в гл. II, спектрогелиограф в действительности является фильтром, который задерживает весь свет за исключением одной спектральной линии и дает возможность наблюдателю увидеть, как пары какого-нибудь элемента распределяются по поверхности Солнца.

Теперь мы рассмотрим несколько прекрасных спектрогелиографических снимков, полученных на обсерватории на горе Вильсона Эллерманом (Ellermann), которые Хэл любезно разрешил мне воспроизвести здесь. Снимок, воспроизведенный на рис. 33, был получен спектрогелиографом в линии H_2 кальция *. Спектрогелиограмма обнаруживает большую ясность и выпуклость деталей в сравнении с непосредственным снимком Солнца (см. рис. 30 на стр. 92). Обнаруженные спектрогелиографом образования Хэл назвал «флоккулами», причем он ввел различие между яркими и темными «флоккулами». Фотография в линии водорода $H\alpha$(C), сделанная спустя несколько минут после первого снимка, воспроизведена на рис. 34. Флоккулы водорода обычно имеют более определенные очертания, чем флоккулы кальция и, по большей части, они темны там, где последние ярки. Однако яркие водородные флоккулы часто появляются в солнечных пятнах и активных областях и нередко изменяют свою форму со скоростью взрыва.

На широкую линию, подобную линиям H или K кальция, щель спектрогелиографа может быть установлена в нескольких положениях. Хэл определяет три таких положениях, которые он обозначает H_1, H_2, H_3,

* Тонкая структура параллельных линий, видимая на всех спектрогелиограммах, не принадлежит Солнцу, а вызвана невполне равномерным движением инструмента.

или K_1, K_2 и K_3. На фотографии хромосферы, снятой во время затмения, со щелью, направленной по радиусу Солнца (см. гл. IV), линии H и K имеют вид «наконечника стрелы». Это означает, что свет центральной



Рис. 34. Водородная спектрогелиограмма, $H\alpha$ (Эллерман). 30 апреля 1908 г. 13ч 06м среднего гриничского времени

части линий H и K дается веществом, расположенным высоко над поверхностью Солнца, в то время как свет краев линий, или крыльев, исходит от вещества, не простирающегося так высоко. H_3 и K_3 соответствуют середине линий H и K (наблюдаемых как темные линии в спектре Солнца). Таким образом, когда мы смотрим на спектрогелиограмму, полученную в линии K_3,

мы видим самый высокий уровень паров кальция. Положения K_2 и K_1 по сторонам и крайние крылья K соответственно относятся к среднему и низшему уровню распределения кальция. В спектре водорода подобная разница уровня спектрогелиограмм получена при использовании линий различных длин волн. При наблюдениях затмения высокие водородные выступы имеют красный цвет, обязанный преобладанию в свете их лучей линии $H\alpha$(C). Поэтому фотографии, полученные через линию $H\alpha$(C), дают картину явлений высокого уровня.

Мы рассматриваем фотографию $H\alpha$ и K_3 как картину явлений высокого уровня, $H\beta$ и K_2 — как среднего и $H\gamma$ и K_1 — как картину низкого уровня, соответственно для водорода и для кальция. Однако оба эти газа на Солнце являются газами высокого уровня и фотографии Солнца, полученные в этих линиях, относятся к более высокому уровню, чем уровень возникновения большинства фраунгоферовых линий. Можно ожидать, что, когда с увеличением мощности инструментов, спектрогелиограф будет употреблен для более узких и поэтому более трудно наблюдаемых линий наиболее тяжелых и трудно испаряемых элементов, то станет видимо положение более низких уровней.

Следующие иллюстрации хорошо выявляют особенности разных уровней. К сожалению, Эллерман не имел возможности снабдить меня серией упомянутых выше спектрогелиограмм для одного дня, вследствие чего пришлось совершенно опустить образец H_3 в серии кальция. На рис. 35 и 36 изображена область солнечной поверхности с пятнами, как она наблюдалась на спектрогелиограммах, снятых в линиях H_1 и H_2 кальция 16 июля 1907 г. Спектрогелиограммы, воспроизводимые на рис. 37, 38 и 39, изображают область с пятнами, наблюдавшуюся 10 сентября 1909 г. Они сняты соответственно в линиях H_2 кальция, $H\gamma$ и $H\alpha$ водорода. В этой последней серии первый снимок не дает и намека на резко выраженную вихревую структуру, обнаруживаемую на высоком уровне водорода на последнем снимке. Поразительно сходство этих изогну-

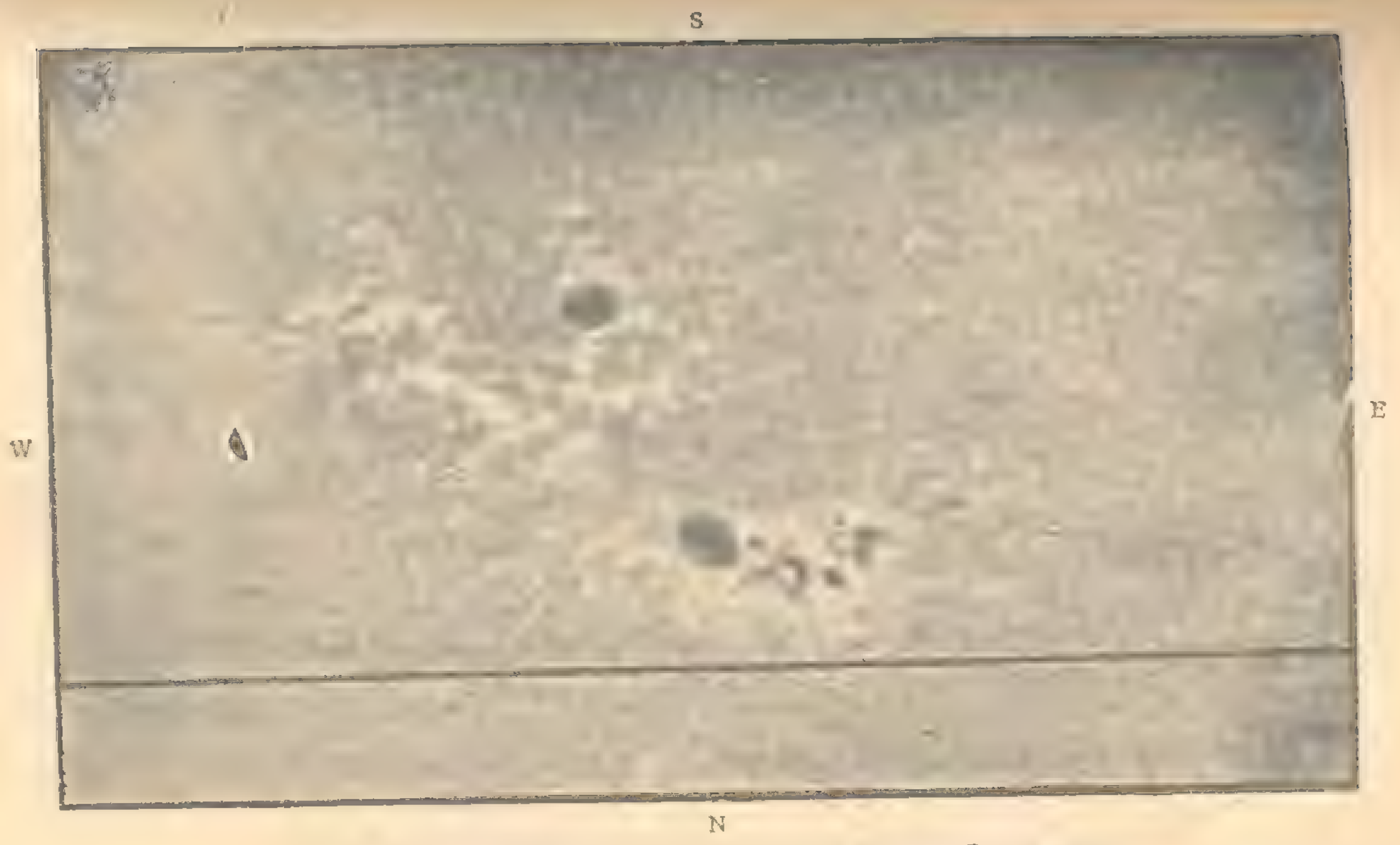


Рис. 35. Кальциевая спектрогелиограмма, H_1 (Эллерман).
15 июля 1907 г., $1^ч\ 05^м$ среднего гриничского времени



Рис. 36. Кальциевая спектрогелиограмма, H_2' (Эллерман).

16 июля 1917 г. $1^ч\ 02^м$ среднего гриничского времени.



Рис. 37. Кальциевая спектрогелиограмма, H_2 (Эллерман).

10 сентября 1909 г., $12^ч\ 57^м$ среднего гриничского времени.



Рис. 38. Водородная спектрогелиограмма, Hγ (Эллерман).
10 сентября 1909 г., $3^ч\ 06^м$ среднего гриничского времени.



Рис. 39. Водородная спектрогелиограмма, $H\alpha$ (Эллерман).

10 сентября 1909 г., $3^{ч}\ 22^{м}$ среднего гриничского времени.

тых структурных форм с диаграммами силовых линий, получаемых в знакомом опыте с мелкими железными опилками на стеклянной пластинке, расположенной горизонтально над парой магнитов. В гл. V мы снова сошлемся на рис. 39, когда будем говорить о магнитном характере солнечных пятен.

К результатам, полученным с помощью спектрогелиографа, мы еще вернемся в гл. IV в связи с изучением солнечных протуберанцев. Эти протуберанцы представляют собой огромные, похожие на пламя выступы, поднимающиеся на тысячи, а иногда даже на сотни тысяч километров над фотосферой. Впервые они были наблюдаемы при затмениях, но то обстоятельство, что они светят главным образом яркими спектральными линиями кальция и водорода, делает возможным при помощи спектроскопа видеть их во всякое время на краю солнечного диска; теперь же благодаря спектрогелиографу, стало возможным различать их часто как темные флоккулы водорода на самом диске Солнца. Снимок Солнца в линии $H\alpha$(C) пригоден лучше всего для этой цели и вполне можно сказать, что он показывает Солнце совсем по-новому. На обычных фотографиях и спектрогелиограммах, снятых в линиях $H\alpha$(C), H и K, видна рябь солнечной поверхности, но на рис. 39 эта рябь, в особенности по соседству с солнечными пятнами, обнаруживает заметную тенденцию к изогнутым и спиральным формам, как будто бы водород на этом высоком солнечном уровне был охвачен вихревым движением. Однако обычно вдоль этих искривленных линий движений не наблюдается, хотя в исключительных случаях серия спектрогелиограмм $H\alpha$ указывала на несомненное наличие очень быстрого движения. Так, Сент-Джон, наблюдая на обсерватории на горе Вильсона 3 июня 1908 г., сфотографировал водородный флоккул, вероятно, представлявший собой протуберанец, переместившийся в течение 18 мин. на 105 000 *км* по направлению к двойному солнечному пятну. Вблизи пятна флоккул разделился и каждая ветвь его была втянута в солнечное пятно. Видимое движение в этом случае шло почти в точности радиально к паре сол-

нечных пятен. Темный флоккул подобного типа, который, возможно, также являлся протуберанцем, можно видеть на рис. 34 *.

Вращение Солнца

Вращение Солнца было измерено путем наблюдения прохождений через солнечный диск пятен, факелов, а в последнее время, кроме того, еще и спектрогелиографически — по флоккулам. Классические исследования Кэррингтона (Carrington) и Шпёрера (Spörer) над прохождением солнечных пятен показали, что:

1) Солнце вращается вокруг оси, наклоненной приблизительно на 7° к плоскости эклиптики, причем солнечная ось направлена в точку на середине расстояния между Полярной звездой и Вегой, с прямым восхождением $18^h\ 44^m$ и склонением $+64°$.

2) На солнечном экваторе вращение совершается приблизительно в 25 суток.

3) Период вращения увеличивается в обе стороны от экватора почти одинаково и равен приблизительно 27,5 суткам на 45° северной и южной солнечных широт.

4) Отдельные солнечные пятна движутся в различных направлениях по солнечной поверхности, так что лишь средний результат движений многих пятен может дать точно период солнечного вращения.

5) Суточная угловая скорость вращения Солнца на различных солнечных широтах выражается следующей формулой:

$$X = 865' - 165' \sin^{7/4} l,$$

где X — суточная скорость вращения и l — солнечная широта. Эта формула была выведена Кэррингтоном.

Фай, исходя из теоретических соображений, принимает, что показатель степени $\sin l$ должен быть равен 2.

---

* Интересное заключение относительно роли эруптивных протуберанцев в жизни солнечных пятен упоминается в гл. V на основании спектрогелиографических наблюдений Фокса.

9 Зак. 3688. Аббот

Он получил из наблюдений Кэррингтона 1853—1861 гг. выражение:

$$X = 862' - 186' \sin^2 l.$$

Шперер из своих собственных наблюдений, произведенных между 1862 и 1868 гг., и из наблюдений Секки и других получил:

$$X = 1\,011' - 203' \sin (41^\circ 13' + l).$$

Тиссеран (Tisserand) из наблюдений 1874—1875 гг. получил:

$$X = 857',6 - 157',3 \sin^2 l.$$

Вильзинг и позднее Стратонов определили время вращения Солнца из наблюдении факелов. Так как эти объекты редко можно проследить больше чем на четверти пути их через солнечный диск и так как их вид обычно изменяется, когда они снова появляются на другом крае, результаты этих наблюдений имеют меньший вес, чем результаты, полученные из наблюдений солнечных пятен. Вильзинг не обнаружил указаний на существование экваториального ускорения, но Стратонов получил по факелам результаты, подобные результатам Кэррингтона и Шперера для солнечных пятен. Позднее Шевалье (Chevalier) опубликовал прекрасные результаты длинной серии определений времени вращения Солнца при помощи измерения факелов. Его работа подтверждает работу Стратонова.

В 1908 г. Хэл опубликовал из спектрогелиограмм определения времени вращения Солнца по флоккулам водорода и кальция, сделанных соответственно в линиях Hδ и H₂. Его результаты с флоккулами H₂ кальция хорошо согласуются с результатами, полученными Фоксом в 1903—1904 гг., для той же линии. Эти результаты согласуются также во всех широтах со скоростями вращения Солнца, полученными разными исследователями из наблюдений солнечных пятен. По флоккулам водорода Hδ скорость экваториального вращения оказалась приблизительно такой же, но по ним не было обнаружено замедления вращения в вы-

соких широтах,—это интересный и важный факт. Согласно принципу Допплера спектральные линии удаляющегося источника света должны быть смещены к красному концу спектра по сравнению с соответствующими линиями источника, приближающегося к наблюдателю. Получая изображение Солнца при помощи телескопа и отражая на щель спектроскопа свет одновременно от двух его краев, можно сфотографировать два спектра, один непосредственно над другим, которые с первого же взгляда покажут смещение всех солнечных линий вследствие его вращения (см. рис. 14, стр. 55). Атмосферные линии при этом останутся не смещенными.

Дюнер (Duner), Хальм, Адамс и Сент-Джон определили таким способом время вращения Солнца с большой точностью. Их результаты подтверждают факт открытый Кэррингтоном из наблюдения солнечных пятен, а именно, что угловое вращение Солнца медленнее в высоких широтах, чем на солнечном экваторе. Так как пятна не встречаются вблизи солнечных полюсов, то эта особенность, к сожалению, не могла быть подробно изучена Кэррингтоном, но при помощи спектроскопического метода время вращения Солнца было определено как для высоких, так и для низких широт. Может легко возникнуть сомнение, должны ли спектроскопические определения вращения Солнца согласоваться с результатами, полученными из наблюдений солнечных пятен, факелов и флоккул по спектрогелиограммам. Солнце, как указывают многие факты, имеет такую высокую температуру, что, по всей вероятности, оно должно быть почти целиком газообразно, и поэтому наш глаз может проникнуть на некоторое расстояние в глубину Солнца. Разнообразные объекты, использованные для изучения вращения Солнца, могут лежать на разных уровнях и скорости их движения могут быть различны. Поэтому интересно сравнить в табл. 9 времена вращения, полученные несколькими визуальными методами и спектроскопическим методом путем наблюдений линий различных химических элементов. Табл. 9 составлена по данным Хэла и Адамса.

Таблица 9

Суточное вращение солнечной поверхности
Разные способы наблюдения

Наблюденный объект	Солнечные пятна	Факелы	Флоккулы Линия H_2	Флоккулы Линия $H\delta$	Разные спектральные линии
	Наблюдатели				
Широты	Кэррингтон Шперер и Маундер (среднее)	Стратонов и Шевалье (среднее)	Фокс и Хэл (среднее)	Хэл	Адамс 1908 г. (эффект Допплера)
от 0 до ± 5°	14°,40	14°,56	14°,54	14°,3	14°,59
„ ± 5 „ ± 10°	14°,35	14°,52	14°,41	14°,4	14°,48
„ ± 10 „ ± 15°	14°,25	14°,33	14°,30	14°,6	14°,33
„ ± 15 „ ± 20°	14°,13	14°,21	14°,13	14°,5	14°,15
„ ± 20 „ ± 25°	13°,98	14°,19	13°,99	14°,7	13°,95
„ ± 25 „ ± 30°	13°,80	14°,04	13°,97	14°,7	13°,74
„ ± 30 „ ± 35°	13°,60	13°,60[1]	13°,75	14°,9	13°,50

[1] Только Стратонов.

Результаты спектроскопических исследований Адамса

Химические элементы	В среднем для многих	La, (CN_2), CN_2	Fe, Ti, TiFe	Mn, Fe, Fe	Ca	H
Длины волн / Широты	Разные	4196,699 4197,257 4216,186	4265,418 4287,563 4288,310	4257,815 4290,542 4291,630	4226,91	6563 054 (Hα или C)
0°,3	14°,65	14°,49	14°,65	14°,72	15°,0	15°,2
14°,9	14°,28	14°,21	14°,31	14°,34	14°,9	15°,0
29°,7	13°,66	13°,49	13°,65	13°,74	14°,2	14°,6
44°,7	12°,81	12°,74	12°,85	12°,95	13°,6	14°,0
60°,0	11°,52	11°,35	11°,53	11°,62	12°,5	13°,7
74°,9	10°,84	10°,50	10°,93	11°,04	13°,1	14°,3

Согласно с результатами, приведенными в табл. 9, сидерическое вращение средней солнечной поверхности совершается приблизительно в 24,6 дня на экра

торе, в 26,3 дня на широте ±30°, в 31,2 дня на ±60° и в 35,3 дня на ±80°. Работы Адамса и Дюнера, проделанные в разные годы, хорошо согласуются между собой, но более поздние результаты дают некоторые основания предполагать наличие векового изменения скорости вращения Солнца. Адамс находит, что его средние результаты и результаты Дюнера и Хальма хорошо выражаются следующей формулой:

$$\xi = 10°,62 + 3°,99 \cos^2 \varphi,$$

где ξ — угловое сидерическое суточное вращение и φ — солнечная широта.

В высшей степени интересное изменение в наблюдаемом времени вращения для линий различных химических элементов рассматривается как указание на различие эффективных уровней происхождения фраунгоферовых линий. Значение этих результатов увеличивается еще тем, что они согласуются с некоторыми другими характерными явлениями, приводящими к тому же заключению. Этот вопрос будет рассмотрен в гл. VI.

Не так давно Сент-Джон определил спектрографически скорость суточного вращения по линии K_3 кальция. Он говорит: «Угловая скорость кальция высокого уровня, образующего линию поглощения K_3, почти постоянна для наблюдаемых широт, будучи равной 15°,5 и 15°,4 в сутки в широтах 6°,6 и 38°,4. Соответствующие значения, выведенные из результатов Адамса, равны 15°,1 и 14°,3 для водорода и 14°,4 и 13°,2 для обращающего слоя. Большая скорость паров кальция, образующих линию K_3, указывает на более высокое положение этого слоя паров кальция по сравнению со слоем водорода, вызывающим образование линий $H\alpha$». То обстоятельство, что кальций встречается на Солнце на таких высоких уровнях, является странным. Мы увидим подтверждение этого факта в следующей главе, но причина его являлась одной из многих загадок, которые до недавнего времени привлекали внимание исследователей Солнца (см. гл. VI).

Глава четвертая

ЗАТМЕНИЯ И ВНЕШНИЕ ОБОЛОЧКИ СОЛНЦА

Сарос. Затмения. Экспедиции для наблюдения солнечных затмений. — Корона. — Хромосфера. — Затмение 1868 г. Открытие Жансена и Локайера. — Спектр хромосферы и протуберанцев. — Наблюдения протуберанцев. — Величина и классификация протуберанцев. — Эруптивные протуберанцы. — Протуберанцы и спектрогелиограф. — Новейшие наблюдения спектра вспышки. — Высота различных металлов в хромосфере. — Наблюдения Митчелла в 1905 г. — Наблюдения Кемпбелла. — Спектр хромосферы при полном дневном освещении

Когда Луна проходит в точности между Землей и Солнцем, она иногда совершенно закрывает последнее; тогда происходит полное затмение Солнца. В это время яркий дневной свет перестает на недолгое время озарять нашу атмосферу и в полутьме мы можем видеть объекты, непосредственно окружающие Солнце. Полные солнечные затмения случаются почти каждый год, но так как Луна никогда не имеет углового диаметра, значительно превосходящего угловой диаметр Солнца, то часть земной поверхности, на которой затмение является полным в данный момент, редко превосходит 150 *км* в поперечнике. Быстрое движение Луны, частично умеряемое вращением Земли, переносит область полного затмения со скоростью свыше 1 500 *км/час*, описывая полосу редко шире, чем в 150 *км*, но простирающуюся в длину иногда и больше, чем 8 000 *км*; на протяжении этой полосы затмение бывает полным, начиная от восхода и до захода Солнца. На громадных пространствах, по обе стороны от полосы полного затмения, наблюдается в течение нескольких часов частное затмение серповидной формы.

Сарос. Затмения. Экспедиции для наблюдения солнечных затмений

Еще древними был открыт цикл затмений, называемый саросом, который приблизительно указывает время, когда должны наступать солнечные затмения

в 223 синодических месяцах заключается почти точно 19 «затменных лет», 346,62 суток, — промежуток времени, в течение которого Солнце в своем видимом годичном движении возвращается в тот же узел лунной орбиты. Следовательно, если мы отсчитаем вперед от дня полного затмения 6 585 дней, т. е. 18 лет и 11 дней, мы сможем определить время наступления нового затмения, полного или частного. Цикл затмений повторяется таким образом приблизительно через 18 лет. Такой цикл насчитывает всего около 65—70 затмений, из которых 18 могут быть полными, а остальные — кольцеобразными или частными. Многие полные затмения бывают видимы только в районах, неблагоприятных для наблюдения, как, например, в океанах, полярных районах, или в очень облачных местностях. Так как продолжительность полного затмения никогда не превышает 8 мин., а обычно бывает не более трех, то за последнее пятидесятилетие полные затмения наблюдались в общей сложности не больше 2 час. времени. Это время было так хорошо использовано, что был собран большой запас материала.

Нередко экспедиции, наблюдавшие затмения, подвергались лишениям, испытывали разочарования, а один раз даже произошел смертный случай. Перри (Perry) из Стонихерста, руководивший английской экспедицией, наблюдавшей затмение в Кайенне в 1889 г., заболел перед ожидаемым днем. Он все-таки провел наблюдения, поддерживаемый товарищем, и потребовал, чтобы успешное окончание наблюдений было ознаменовано трехкратным «ура», говоря: «Я не могу кричать, но я буду махать шляпой». Он умер через несколько дней на море на обратном пути.

Если полное затмение должно произойти в месте, благоприятном для наблюдения, то астрономы едут туда обычно заранее, за несколько недель, с фотографическими телескопами, спектроскопами, вспомогательной аппаратурой и другим снаряжением. Инструменты устанавливаются, тщательно выверяются и снабжаются всеми возможными приспособлениями для того, чтобы облегчить и ускорить операции с ними

в критический момент. При первой возможности начинаются репетиции наблюдения затмения. Отсчитываются сигналы времени, фотографические аппараты действуют, и вся программа целиком выполняется, как бы во время полного затмения. Таким путем наблюдатели стараются предупредить все возможные случайности и добиться скорости и ловкости при выполнении своих обязанностей. Ланглэй говорил, что если можно было бы ожидать потерю булавки во время затмения, наблюдатель должен был бы репетировать потерю булавки и замену ее другой.

Час, минута и секунда затмения предсказаны давно заранее, так что в указанный день все уже подготовлено к действию в хорошо известное время. При первом контакте с Луной на солнечном диске появляется выемка, она растет все больше и больше в течение следующих полутора часов до тех пор, пока не останется узкий серп. Эти полтора часа всегда казались автору спасением, так как во время их медленного течения неторопливый ход событий успокаивает нервное возбуждение, наступающее при первом контакте. По мере утончения серпа, солнечный свет делается заметно слабее и желтее, так как только край остается видимым, а его свет, как уже установлено, гораздо слабее, чем свет центра диска, особенно в фиолетовой части спектра. Перед самым началом полного затмения колеблющиеся полосы, называемые «бегущими тенями», быстро скользят по земной поверхности и, затем, когда последний серп фотосферы внезапно исчезает, тонкое кольцо розового света окружает Луну и за ним приблизительно на один или два диаметра от Солнца вспыхивает жемчужная корона.

Корона

Существует цикл изменений в форме короны, охватывающий период около одиннадцати лет, который предполагается тождественным с периодом солнечных пятен, о чем будет речь в гл. V. Так как корону можно наблюдать только во время полного солнечного затмения, то ход ее изменений изучен пока еще недо-

статочно, но в последнее пятидесятилетие было замечено, что во время минимума солнечных пятен корона имеет длинные экваториальные лучи, тогда как во время максимума солнечных пятен корона распространяется на умеренное расстояние, но почти равномерно во всех направлениях от Солнца. Прилагаемые иллюстрации дают характерные формы короны при мини-



Рис. 40. Солнечная корона 28 мая 1900 г.
С рисунка Кальверта по фотографии экспедиции Иеркской обсерватории.

муме и максимуме солнечных пятен. На рис. 40 воспроизведен рисунок Кальверта (Kalvert) затмения 1900 г., исполненный по фотографиям, полученным экспедицией Иеркской обсерватории. Рис. 41 изображает затмение 1905 г. — по рисунку С. Г. Аббот (C. G. Abbot), исполненному с фотографии, полученной экспедицией морской обсерватории в Вашингтоне.

Было произведено много попыток, но пока без особенного успеха, изобрести способ наблюдения короны без затмения. Успех мало вероятен, так как в самых ярких частях, даже на расстоянии $^1/_{10}$ радиуса

от солнечного края, блеск короны составляет только около $^1/_{10}$ дневного света неба в 20' от Солнца, если наблюдать на уровне моря. Вблизи Солнца дневной свет неба всегда значительно ярче, так что свет короны сравнительно с ним ничтожен. Правда, поднимаясь на очень высокую гору, можно наблюдать в лучших условиях, так как корона будет немного ярче, а свет неба в несколько раз слабее, но яркость неба все-таки остается слишком велика, чтобы можно было видеть корону даже в самых ярких ее частях, каким-нибудь известным способом *.

Корона быстро слабеет с увеличением расстояния от Солнца. Согласно Тёрнеру, обработавшему результаты различных затмений, она слабеет пропорционально шестой степени расстояния от центра Солнца. Л. Беккер (L. Becker) из фотографических наблюдений, сделанных при затмении 1905 г., выведет следующую формулу распределения интенсивности голубой и фиолетовой радиаций на различных расстояниях H от солнечного края:

$$I = C(H + 140)^{-4},$$

где I — интенсивность, C — постоянная и H выражено в тысячных долях солнечного диаметра.

H	45	121	364
Полная радиация	100	29,9	0
Видимая радиация	100	29,8	0
Инфракрасная радиация	100	30,1	0
Вычисленная по Беккеру	100	25,2	1,8
Вычисленная по Тёрнеру	100	45,7	6,3

При затмении 3 января 1908 г. автор вместе с А. Ф. Муром (A. F. Moore) произвели болометриче-

* В последние годы французскому ученому Лио удалось построить специальный инструмент с оптикой, дающей исключительно мало рассеянного света, посредством которого ему на высокой горе удалось обнаружить внутреннюю корону без солнечного затмения и получить ее спектр. — *Прим. ред.*

ское наблюдение интенсивности радиации короны на различных расстояниях от солнечного края. Это было сделано с экраном из стекла, покрытого асфальтовым лаком, и без экрана. Этот экран употреблялся для



Рис. 41. Солнечная корона 30 августа 1905 г.

С рисунка [illegible] обсерватории США.

того, чтобы отрезать видимую часть спектра, оставляя лишь инфракрасную часть. Ниже дается сравнение этих результатов с подсчетами по формулам Тёрнера и Беккера.

Обнаруживается хорошее согласие между болометрическими наблюдениями и подсчетами по формуле Беккера, так что для короны эпохи максимума сол-

нечных пятен формула представляет, повидимому, действительное распределение всех видов радиации, по крайней мере во внутренней короне.

Свет явственно обнаруживает радиальную поляризацию внешней короны; степень поляризации уменьшается и, наконец, исчезает у солнечного края. Поляризация света короны обычно считается доказательством наличия в свете короны рассеянных лучей фотосферы, совершенно так же, как свет неба и его поляризации происходят от рассеяния солнечного света воздухом. Некоторые исследователи на основании отсутствия поляризации близ солнечного края заключили, что свет этой части короны почти не содержит рассеянных лучей фотосферы. Но частица, находящаяся около края солнечного диска, должна быть освещена со всех направлений полусферы, так что свет, который она рассеивает, частично поляризованный в каждой плоскости, в совокупности не обнаружит поляризации. Таким образом отсутствие рассеянных лучей фотосферы в свете внутренней короны не может быть выведено из отсутствия поляризации.

Спектр короны гораздо ближе к непрерывному спектру, чем спектр фотосферы. Было найдено небольшое количество ярких линий, но во время большинства затмений они не обращали на себя внимания. Существует известная яркая зеленая корональная линия с длиной волны в 5 303 Å. Эта линия была открыта Юнгом в 1870 г. и была видна с большей или меньшей отчетливостью во многих последующих затмениях. По длине волны она не соответствует никакому известному веществу и никакой линии фотосферы. Ее приписывали гипотетическому элементу «коронию», но это скорее линия спектра какого-нибудь хорошо известного элемента в каком-либо необычном состоянии возбуждения или, может быть, диссоциации. Так же как элемент гелий был найден на Земле после того, как его спектр был уже давно известен в Солнце и звездах, может оказаться и с «коронием». Несколько ярких линий короны были открыты в ультрафиолетовой части спектра Деляндром, Дайсоном (Dyson), Льюисом (Lewis) и

другими. Во внешней короне наблюдались фраунгоферовы линии спектра фотосферы и были многократно сфотографированы Кэмпбеллом, Перрайном (Perrine) и другими. Льюис нашел их при затмении в 1908 г. только в ультрафиолетовой части спектра. Эти темные линии слабеют и исчезают вблизи края солнечного диска. Их присутствие во внешней короне является доказательством наличия в ее свете значительной доли рассеянных лучей фотосферы; Кэмпбелл из их отсутствия около солнечного края заключает, что внутренняя корона светит почти полностью температурным свечением составляющих ее веществ, которые нагреваются вследствие близости к Солнцу. Ряд причин ведет к уменьшению видимости фраунгоферовых линий внутренней короны, вблизи солнечного края. Среди них: 1) атмосферное рассеяние ярко блестящих линий спектра хромосферы; 2) передержка фотографии спектра в самой глубине короны и т. д.

Бигелоу и Холден (Holden) из изучения фотографии затмений заключают, что корона принимает участие во вращении Солнца. Это мнение подтверждается спектроскопическими наблюдениями Деландра, Кэмпбелла и Белопольского. Было высказано предположение, что, так как полярные лучи короны кажутся похожими на полярные сияния, видимые в высоких северных и южных широтах, корона должна иметь, подобно им, электрическую природу. Ее свечение считали не температурным свечением, а свечением, подобным полярному сиянию, обязанному своим происхождением главным образом люминисценции, аналогичной люминисценции, наблюдающейся при электрическом разряде. Болометрические наблюдения внутренней короны, сделанные автором при затмении 1908 г., не совместимы со взглядом, что корона светит главным образом вследствие обычного накаливания. Потому что при помощи светофильтров было установлено, что отношение интенсивности инфракрасного света к полной радиации почти такое же для вутренней короны, как и для фотосферы. Если корона светит главным образом от накаливания и ее высокая температура вызывается поглощением солнеч-

ного света ее частичками, то часть радиации короны, в инфракрасной области спектра, должна быть относительно более интенсивной, чем та же часть в спектре фотосферы, так как температура короны должна быть значительно ниже температуры фотосферы. Тем не менее Льюис во время того же затмения обнаружил, что ультрафиолетовые лучи короны непропорционально слабее, чем такие же лучи в фотосфере, и сделал отсюда заключение о низкой температуре короны. До сих пор нельзя считать установленным состав света внутренней короны *. В нем есть несомненно рассеянный свет, све[illegible] накаливания, а может быть и люминисценция. Может быть именно последней и объясняются вышеприведенные загадочные явления. Вопрос о природе короны будет рассмотрен в гл. VI.

Хромосфера

У самого края солнечного диска видимо при полном солнечном затмении, а с помощью специальных приспособлений и при полном дневном свете, тонкое кольцо розового цвета, называемое хромосферой; из него иногда выдаются на высоту 80 000 и даже 150 000 *км* неправильной формы розовые образования — «протуберанцы». Спектр хромосферы состоит из ярких линий на слабом непрерывном фоне. Эти яркие линии соответствуют по своему положению и обычно также по относительной интенсивности, темным фраунгоферовым линиям спектра фотосферы. Протуберанцы кажутся распространением хромо-

---

* В 1929 г. немецкий ученый Гротриан показал, что распределение энергии в спектре солнечной короны совпадает в видимой и фотографической частях с распределением энергии в спектре Солнца. В 1932 г. французский ученый Дюфай во время полного солнечного затмения измерил поляризацию света в солнечной короне в тех же участках спектра, какие изуча[illegible] и Гротриан. Дюфай нашел, что процент поляризации света короны оказался такой же для всех участков спектра. Наблюдения Гротриана и Дюфая показывают, что свет короны является отраженным светом Солнца. В настоящее время считают, что корона состоит главным образом из свободных электронов, которые и являются частицами (подобно молекулам газов земной атмосферы), рассеивающими солнечные лучи. — *Прим. ред.*

сферы в высоту, но спектры их обычно проще. Проф Юнг подробно изучил протуберанцы и их спектр, и я считаю наилучшим процитировать его описание (из книги «Солнце»), дополняя его очерк ссылкой на современные работы по этому вопросу. Объяснения некоторых явлений, данные Юнгом, несколько отличаются от объяснений автора, так как Юнг был приверженцем теории облачного строения фотосферы.

Затмение 1868 г. Открытие Жансена и Локайера

«Каждый более или менее знаком с историей этого затмения. Гершель, Теннан, Погсон, Рейэ и Жансен (Herschel, Tennant, Pogson, Rayet, Janssen) — все сделали совершенно одинаковое описание. Они нашли, что спектр протуберанцев состоял из ярких линий и среди них были ясно видны линии водорода. Правда, были серьезные разногласия между наблюдателями не только относительно числа видимых ярких линий, в чем нет ничего удивительного, но и относительно их положения. Так, Рейэ, видевшая больше линий, чем другие, отождествила наблюдавшуюся красную линию с B вместо C Все наблюдатели ошибочно принимали желтую линию, которую они видели, за линию натрия.

Однако их наблюдения, взятые вместе, вполне доказали тот факт, что протуберанцы являлись огромными массами сильно нагретой газообразной материи и что водород был их главной составной частью.

Жансен пошел дальше. Линии, которые он видел во время затмения, были так ярки, что он был уверен в возможности увидеть их опять при полном солнечном свете. Облака помешали ему поставить опыт в тот же день, непосредственно после затмения; но на следующее утро Солнце взошло не закрытое облаками, и, как только он установил необходимые приборы и направил инструменты на часть солнечного края, где накануне наблюдался наиболее яркий протуберанец, те же линии обнаружились вновь, чистые и яркие, и тут, на свободе, конечно, было нетрудно

днем. Напряженный свет, отражающийся от частиц нашей земной атмосферы, близких к месту Солнца на небе, скрывает их от нас. Если бы было возможно ослабить в достаточной мере это воздушное освещение, не ослабляя в то же время света протуберанцев, то цель была бы достигнута. Спектроскоп прекрасно разрешает эту задачу. Так как свет воздуха есть отраженный солнечный свет, то он дает, конечно, тот же самый спектр, как и солнечный свет: непрерывную цветную ленту, пересеченную темными линиями. Но всякое усиление светорассеивающей силы делает этот спектр значительно слабее, так как свет растягивается в более длинную ленту и покрывает большую площадь. С другой стороны, спектр из ярких линий не испытывает такого ослабления при усилении светорассеивающей силы спектроскопа. Увеличиваются только промежутки между яркими линиями. Но самые линии нисколько не становятся размытыми и не теряют своей яркости. Кроме того, если газ, подобно водороду, в обыкновенном солнечном спектре (следовательно, и в спектре воздуха) дает темные линии, то это даже лучше. В этом случае не только ослабляется сплошной спектр воздуха большой дисперсией — в нем, помимо того, появляются темные пробелы как раз там, где упадут яркие линии спектра протуберанцев.

Если изображение Солнца, образованное трубой, исследовать при помощи спектроскопа, то можно надеяться увидеть на краю диска яркие линии, принадлежащие спектру выступов, раз они действительно газообразны.

Локайер и Хеггинс (Huggins) оба произвели опыт в 1867 г. Но опыт оказался безуспешным. Произошло это отчасти потому, что их инструменты не обладали достаточной силой, чтобы отчетливо выявить эти линии. Но главным образом их неудача объясняется тем, что они не знали, в каком месте спектра следует искать эти линии. В то же время они не были даже уверены в их существовании. Как бы то ни было, когда было объявлено об открытии, Хеггинс тотчас же без всякого труда нашел линии. Он пользовался

даже тем же самым инструментом, который раньше не мог обнаружить линий. Вообще гораздо легче заметить предмет, о существовании которого мы уже знаем. Об этом факте слишком часто забывают. В этом случае сила инструмента и острота зрения могут быть даже более чем вдвое меньше, нежели это требуется для открытия предмета.

Локайер тотчас же после опубликования своего отчета начал хлопоты для получения подходящего инструмента. После большого промедления, вызванного отчасти смертью оптика, которому было поручено конструирование инструмента, а отчасти вследствие других причин, он получил новый спектроскоп в то самое время, когда доклад о наблюдениях Гершеля и Теннанта достиг Англии. Наскоро собрав инструмент, еще не совсем законченный, он тотчас пристроил его к телескопу и без труда нашел линии и проверил их положение. Затем он открыл, что эти линии видны по всему контуру Солнца, а следовательно, что протуберанцы являются лишь выступами над непрерывной солнечной оболочкой, которую, как уже сказано выше, называют хромосферой (повидимому, он не знал о более ранних подобных же заключениях Араго, Гранта, Секки и др.). Он сразу сообщил свои результаты в Королевское общество и также во французскую Академию наук, и по нередко случающемуся странному стечению обстоятельств его письмо и письмо Жанссена были зачитаны на том же заседании, одно через несколько минут после другого.

Открытие это вызвало величайший энтузиазм, и в 1872 г. французское правительство выбило в честь двух астрономов золотую медаль.

Вскоре целому ряду наблюдателей — Жанссену, Локайеру, Цельнеру (Zöllner) и другим удалось, приводя в быстрое колебательное или вращательное движение щель спектроскопа, увидеть сразу весь контур и детали протуберанца, а Хеггинс показал, что ту же цель можно достигнуть гораздо более простыми средствами. У спектроскопа с достаточной дисперсией необходимо только расширить щель инструмента соответствующим винтом. По мере расширения щели

все большие и большие части протуберанца становятся видимыми, и если протуберанец не очень велик, он может быть виден целиком. Однако с расширением щели яркость фона увеличивается, так что мелкие детали объекта видимы менее ясно, и вскоре наступает предел, за которым дальнейшее расширение невыгодно (рис. 42). Чем выше рассеивающая сила спектроскопа, тем шире может быть употреблена щель и тем больший протуберанец можно наблюдать, — но все же до известных границ. Нашими последними спектроскопами, особенно с дифракционными решетками, нетрудно достигнуть такого большого рассеяния, что даже линия C становится широкой и размытой, подобно линии *b* в обычных инструментах. В таком случае каждая светящаяся точка протуберанца представляется в его изображении не одной точкой, как это должно бы быть для получения резкого изображения, а черточкой, расположенной под прямым углом к линиям спектра».



Рис. 42 Первое наблюдение Хеггинса протуберанцев при полном солнечном свете.

Спектр хромосферы и протуберанцев

«Спектры хромосферы и протуберанцев очень интересны в их отношениях к спектру фотосферы. Они представляют много особенностей, которые еще не выяснены окончательно. Время от времени и в тех местах, где происходит какое-либо особенное возмущение, спектр у основания хромосферы весьма сложен и состоит из сотен ярких линий. Часто это явление наблюдается по соседству с пятнами как раз в те моменты, когда они находятся на краю солнечного диска. В течение нескольких недель, когда автор производил свои наблюдения на горе Шермэн, в 1872 г., он заметил 273 линии. Новейшие наблю

дения значительно увеличили это число: по крайней мере на 50 линий в пределах видимого спектра и на 80 линий в ультрафиолетовой части спектра. В этом последнем случае наблюдатели пользовались фотографией. Большинство линий можно было наблюдать лишь по временам, в течение нескольких минут, когда какое-либо извержение поднимало на время газы и пары, которые вообще лежат внизу, главным образом в промежутках между облаками, образующими фотосферу, и ниже ее верхней поверхности. Линии, появляющиеся только в такие моменты, суть большею частью просто более заметные «обращенные» темные линии обыкновенного солнечного спектра. Но подбор линий кажется очень прихотливым. Одна линия имеется, другая отсутствует, хотя она принадлежит тому же самому элементу, обладает одинаковой интенсивностью и лежит, к тому же, рядом с первой. Очевидно, что вопрос этот требует подробного и тщательного изучения. Помимо наблюдений над Солнцем, тут необходимы лабораторные работы над спектрами соответствующих элементов. Только тогда можно будет дать удовлетворительный отчет относительно всех наблюдающихся особенностей.

Линии, составляющие истинный спектр хромосферы, если его можно так назвать (т. е. те линии, которые всегда наблюдаются в нем при пользовании соответствующими приспособлениями), не очень многочисленны. Мы даем ниже список этих линий с указанием их длин волн по Роуланду:

1. 7065,50	Гелий
2. 6563,05, C	Водород (Hα)
3. 5875,98, D_3 (тесная пара,	Гелий
4. 5316,87	?
5. 4861,50, F	Водород (Hβ)
6. 4471,80, f	Гелий
7. 4340,66, g (близ линии G)	Водород (Hγ)
8. 4101,85, h	Водород (Hδ)
9. 3970,20 (в линии H)	Водород (Hε)
10. 3968,56, H	Кальций
11. 3933,86, K	Кальций

Первую линию вообще очень трудно видеть, хотя по временам она очень заметна. Она лежит в кра-

ном цвете, между B и a. Ей соответствует очень слабая темная линия. Номер 3 обыкновенно не имеет соответствующей темной линии, хотя случайно появляется одна, соответствующая ей темная линия, особенно в соседстве солнечных пятен. Номер 9 вся погружена в широкую тень линии H, которая, таким образом, является двойной в спектре хромосферы.

Одиннадцать упомянутых выше линий неизменно присутствуют в спектре хромосферы. Но очень легко вызвать появление гораздо большего числа линий. Таковы:

1.	6678,2	Гелий	18. 4924,1	Железо
2.	6431,1	Железо	19. 4922,3	Гелий
3.	6141,9	Барий	20. 4919,1	Железо?
4.	5896,2, D_1	Натрий	21. 4900,3	Барий
5.	5890,2, D_2	Натрий	22. 4584,1	Железо
6	5363,0	Железо?	23. 4501,4	Титан
7.	5284,6	Титан?	24. 4491,5	Марганец
8.	5276,2	Хром?	25. 4490,2	Марганец
9.	5234,7	Марганец	26. 4469,5	Железо
10.	5198,2	?	27. 4245,5	Железо
11	5183,8, b_1	Магний	28. 4236,1	Железо
12.	5172,9, b_2	Магний	29. 4233,8	Железо
13	5169,2, b_3	Железо	30. 4226,9	Кальций
14.	5167,6, b_4	Магний	31. 4215,7	Стронций
15.	5018,6	Железо	32. 4077,9	Стронций
16.	5015,8	Гелий	33. 4026,0	Гелий
17	4934,3	Барий	34. 3889,1	Водород ($H\zeta$)

Однако мы не хотим сказать, что если одна из этих линий видна, то видны и все остальные, или что они одинаково видны и одинаково обычны. В некотором степени их выбор автором был произволен, так как имеется почти такое же число других линий, которые видны довольно часто, и возможно, что некоторые из них заслуживают место в списке вместо других, нами исключенных.

Требуется особая тщательность манипуляций, чтобы достаточно выявить слабые и тонкие линии. Щель должна быть установлена с чрезвычайной тщательностью в фокальной плоскости исследуемых лучей, поставлена касательно к изображению Солнца и наведена как раз на край диска. Несколько сотых

миллиметра в ее положении играют роль в успешном или неудачном наблюдении, и даже легкое колебание воздуха уменьшает число видимых ярких линий по крайней мере вдвое.

Так как большинство линий развивается только при большем или меньшем необычном возмущении сол-

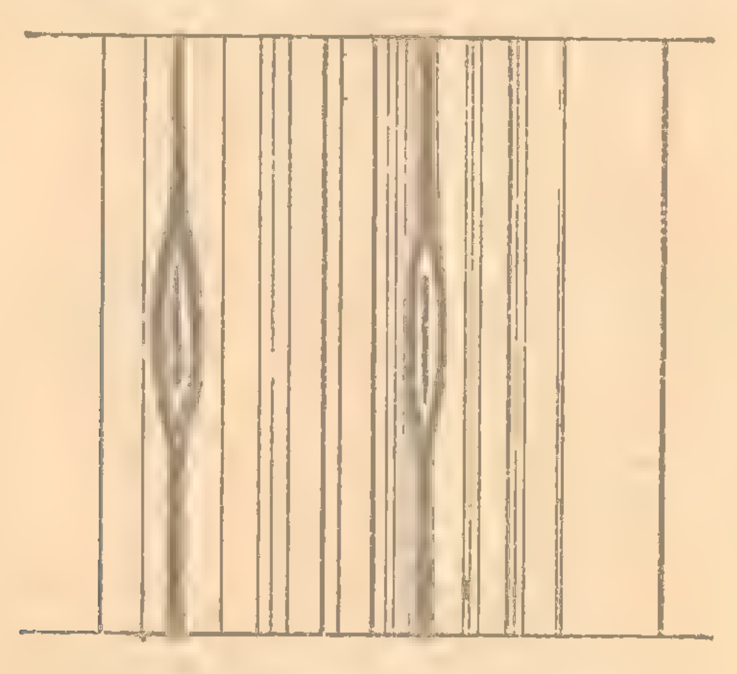


Рис. 43. Двойное обращение линии D.

нечной поверхности, то естественно ожидать, что очень часто эти линии бывают искривленными и смещенными, благодаря движению газов по лучу зрения (к наблюдателю или от него), как это объяснено в предыдущей главе, и производит то, что Локайер называет «формами движения». Иногда мы встречаем так называемое двойное обращение, особенно в линиях магния и натрия. Темные линии этих веществ довольно широки в солнечном спектре. Когда они обращаются в спектре хромосферы, то явление состоит в появлении тонкой яркой линии в середине более широкой темной полосы. При двойном обращении яркая линия расширяется и в ее середине появляется тонкая темная линия. В этом случае мы наблюдаем центральную темную линию с яркими линиями по обеим сторонам, а вне ярких линий

обеих сторон сильную тень. Рис. 43 представляет такого рода двойное обращение линий D, наблюдавшееся автором несколько раз зимой 1880 г. По-видимому, явление обусловливается присутствием необычного количества паров значительной плотности и совершенно соответствует тому, что мы видим иногда в спектре пламени натрия. Каждая из двух линий D натрия двоится так, что мы получаем парные яркие линии вместо одиночных. Электрическая дуга обнаруживает это явление еще лучше.



Рис. 44. Двойное обращение линии C

У основания протуберанца линии C, F, H и K всегда дважды обращены. Рис. 44 сделан с недавней фотографии линии C, полученной в Принстоне Ридом (Reed) с помощью большого телескопа, соединенного со спектроскопом. Щель располагалась касательно к краю солнечного диска. Конечно, для получения подобного отпечатка рубинового света этой части спектра потребовались изохроматическая пластинка и большая выдержка. Когда щель расположена так, что пересекает солнечный край радиально, то яркие линии принимают форму наконечника стрелы в том месте, где они проектируются вне спектра фотосферы, как это показано на рис. 45.



Рис. 45. Стреловидная форма спектральной линии

Вообще говоря, спектр протуберанца проще спектра хромосферы у ее основания. На значительной высоте над фотосферой мы редко находим другие линии кроме C, D₃, F, g, h, H и K, хотя вместе с ними встречается иногда и линия f. В редких случаях также пары натрия и магния переносятся в более высокие области и автору раз или два удалось видеть линию номер 1 второго списка (λ 6678,2) в самой высокой части протуберанца».

Наблюдения протуберанцев

«Когда спектроскоп употребляется для наблюдения видимой формы и строения протуберанцев, то его щель раздвигается более или менее широко.

Телескоп направляется так, чтобы изображение Солнца падало от той части его края, которая подлежит наблюдению, точно касательно к открытой щели, как на рис. 46, который изображает щель спектроскопа, с изображением Солнца при наблюдении.

Если в этом месте солнечного края существует протуберанец (как это и случится, вероятно, принимая во внимание близость пятна, показанную на рис. 46) и если спектроскоп так установлен, что линия C попадает в центр поля зрения, тогда, смотря в окуляр, увидим нечто очень похожее на рис. 47 Красная часть спектра протянется поперек поля зрения, как яркокрасная лента с поперечной темноватой полосой, и в этой полосе появятся протуберанцы в виде красных облаков, похожих и по форме, и по строению на наши земные облака. Это сходство столь удивительно, что можно подумать, что смотришь через полуоткрытую дверь на небо во время заката. Вся разница в данном случае состоит лишь в том, что нет различия, или контрастов красок, — все облачка одинакового чистокрасного цвета. Вдоль края щели видна хромосфера, более блестящая, чем облака, вырывающиеся из нее или плавающие над ней и состоящие большей частью из мельчайших язычков и волокон. Однако обычно очертания хромосферы менее ясны, чем очертания верхних облаков Это происходит по-

тому, что вблизи самого края солнечного диска, где температура и давление наивысшие, водород находится в таком состоянии, что его спектральные линии расширились и «расплылись», подобно линиям магния, хотя и в меньшей степени Каждая точка хромосферы поэтому, если на нее смотреть через открытую щель, кажется не точкой, а короткой линией, направленной по длине спектра. Так как длина этой ли-

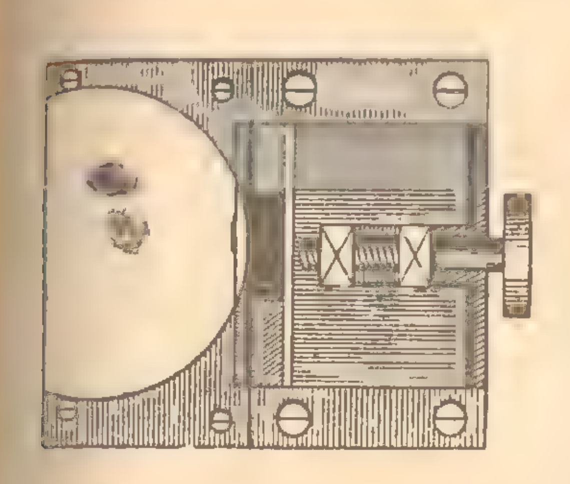


Рис. 46. Раздвинутая щель спектроскопа.



Рис. 47. Вид хромосферы и протуберанцев в спектре.

нии зависит от дисперсии спектроскопа, то ясно, что в этом направлении можно уйти слишком далеко. Чем слабее дисперсия, тем более отчетлива полученная картина, но тем она слабее по сравнению с фоном, на котором она видна

Как раз вблизи хромосферы (у *a* на рис. 47) кажется, как будто бы край солнечного диска темный, это явление недавно еще казалось загадочным. Его объяснение находится в «двойном обращении» линии C у основания хромосферы, описанном и поясненном рисунками несколькими страницами выше.

Если спектроскоп установлен на линию F, вместо C, то видна подобная же картина протуберанцев и хромосферы, но голубая, а не красная. Обычно, однако, так как линия F туманнее и расплывчатее, чем C, то это голубое изображение менее совершенно по отчетливости своих деталей, и поэтому его реже наблюдают. Подобные же эффекты получаются с помощью

желтой линии D и фиолетовой линии G. С соответствующими предосторожностями, употребляя фиолетовое стекло перед глазом и тщательно заслонив посторонний свет, можно использовать также линии H и K, но визуальные наблюдения этой части спектра чрезвычайно трудны и несовершенны.

При фотографировании же, наоборот, именно эти линии используются лучше и удобнее других. Мы вернемся к этому несколько далее.

Проф. Уинлок (Winlock) и Локайер попытались, употребляя кольцеобразную щель вместо обычной, получить сразу полное очертание Солнца и им это удалось. Со спектроскопом достаточной силы и с достаточно тонкими приспособлениями этого можно добиться; но до сих пор этим способом достаточно хорошие результаты, повидимому, еще не получены. При визуальных наблюдениях мы рассматриваем окружность всегда по частям, направляя инструмент на каждую точку, перемещая щель касательно к краю.

Число протуберанцев значительной величины (высотой более 15 000 *км*), видимых одновременно по окружности Солнца, никогда не бывает очень велико, редко достигая 25 или 30. Их число, однако, сильно изменяется в зависимости от числа солнечных пятен; во время минимума солнечных пятен нередки случаи, что нельзя найти ни одного протуберанца, хотя в течение предыдущих годов их обычное количество равняется 5 и 6, причем некоторые из них часто значительных размеров. Наблюдения Таккини (Tacchini) и Секки (Secchi) показали, что их число следует за ходом числа солнечных пятен, однако никогда не падает так низко, как число последних.

Мы обязаны Таккини наиболее полными исследованиями этих объектов, продолжающимися с 1872 г., дающими число и распределение протуберанцев вдоль солнечного края с зарисовками всего особенно замечательного. Многие другие астрономы принимали участие в наблюдениях такого рода, — венгерские наблюдатели Фений (Fenyi) в Калоче и фон-Готард (von Gothard) в Херени дали много прекрасных описаний и

рисунков. Перри и его ассистент Сидгрэвс (Sidgreaves) в Стонихёрсте также заслуживают особого упоминания.

Распределение протуберанцев по поверхности Солнца в некоторых отношениях похоже на распределе-

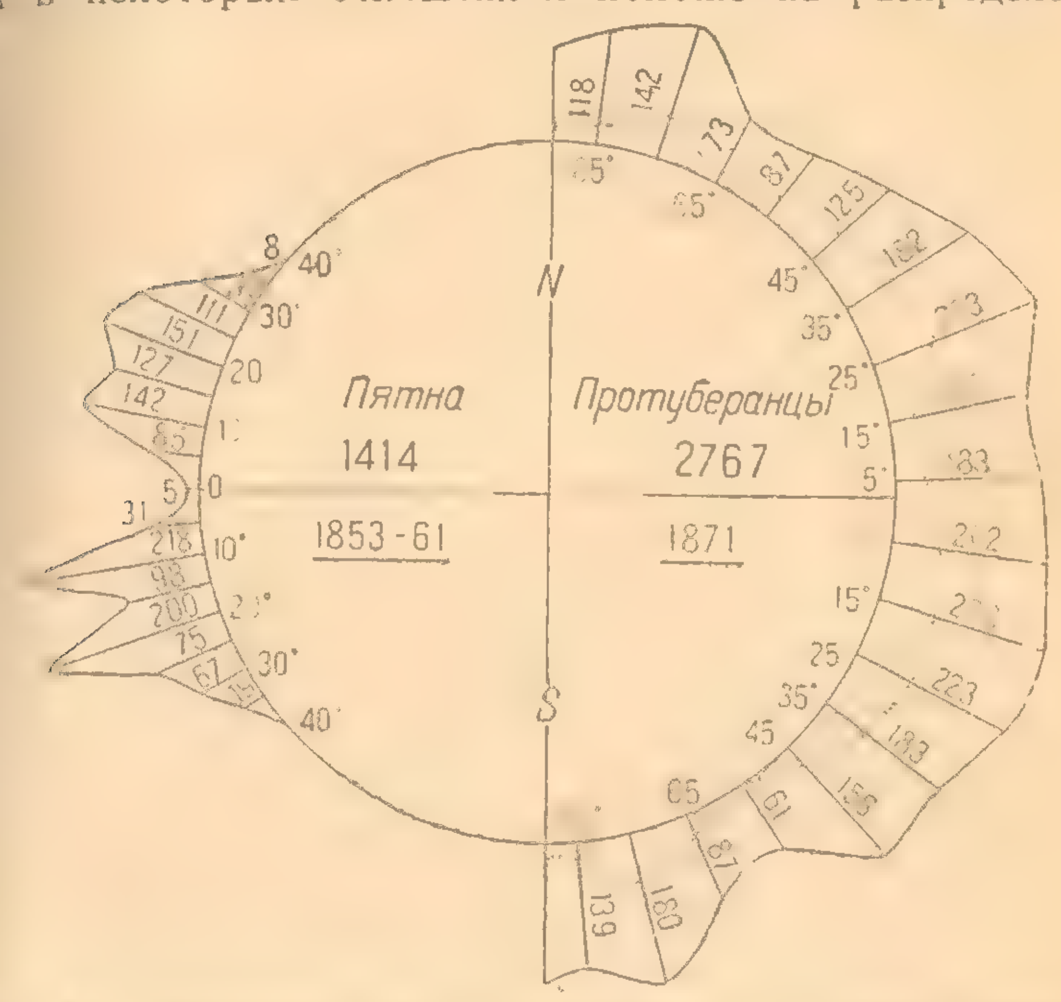


Рис. 48. Относительная частота протуберанцев и солнечных пятен.

ние пятен, но имеет и существенное отличие. Пятна ограничиваются расстоянием в 40° от солнечного экватора и наиболее многочисленны на широте Солнца около 20° в обоих полушариях. Протуберанцы особенно многочисленны именно тогда, когда пятна наиболее обильны, но они не исчезают на широте 40°, они встречаются даже на полюсах и, начиная с широты 60°, значительно увеличиваются в числе приблизительно до широты 75°.

Приложенная диаграмма (рис. 48) представляет относительную частоту протуберанцев и пятен в раз-

ных частях солнечной поверхности. На левой стороне дан результат наблюдения 1 386 пятен Кэррингтоном между 1853 и 1861 гг., а на правой стороне — результаты наблюдений Секки 2 767 * протуберанцев в 1871 г. Длина каждой радиальной линии представляет число пятен или протуберанцев, наблюдаемое на каждой отдельной широте. Так, например, Секки за время своей работы наблюдал между 10 и 20 южной широты 228 протуберанцев; соответствующая линия, проведенная под углом 15 на рис. 48, поэтому имеет длину, пропорциональную этому числу 228. Другие линии проложены таким же образом, и поэтому неправильная кривая, проходя через их концы, представляет относительную частоту этих явлении в различных солнечных широтах. Пунктирная линия с правой стороны представляет таким же образом в том же масштабе распределение больших протуберанцев, имеющих высоту более 1, т. е. более 44 000 *км*.

Простое рассмотрение диаграммы сразу же показывает, что, хотя протуберанцы должны иметь, и часто действительно имеют, близкую связь с солнечными пятнами, но тем не менее это совершенно независимые явления.

Тщательное изучение вопроса показывает, что протуберанцы гораздо более связаны с факелами. По крайней мере во многих случаях факелы, когда они наблюдаются у солнечного края, бывают окружены протуберанцами; можно полагать, что они имеют общую причину возникновения. С другой стороны, пятна, когда они достигают краев диска Солнца, обычно бывают более или менее окружены протуберанцами, но редко закрываются ими. Действительно, Респиги (Respighi) утверждает (и очень тщательные наблюдения, сделанные нами, подтверждают его вы-

---

* Не все 2 767 протуберанцев различны. Если протуберанцы, наблюдавшиеся накануне, можно было видеть на следующий день, то они были снова зарегистрированы; протуберанцы, близкие к полюсу, медленно пропадают из виду, благодаря вращению Солнца. Этим легко объяснить, почему количество протуберанцев, зарегистрированных в полярных областях, так велико.

вод), что, как общее правило, хромосфера значительно понижена непосредственно над пятном. Секки, однако, отрицает это».

Величина и классификация протуберанцев

«Протуберанцы сильно различаются по величине. Средняя толщина хромосферы не далека от 10 или 12″, т. е. составляет около 8 000 или 10 000 *км*. Поэтому протуберанцем не считают облако, подымающееся менее чем на 15 или 20″, т. е. от 11 000 до 14 000 *км*. Из 2 767 уже упомянутых протуберанцев 1 964 достигали высоты в 40″, или в 29 000 *км*, и нужно заметить, что протуберанцев меньших размеров мало; они составляют только третью часть общего числа; 751 или около ¼ всего числа достигали высоты в 1′, или 45 000 *км*; точное число достигавших большей высоты не указано, но некоторые превышали 3′, или 130 000 *км*. Но довольно редко бывает, чтобы они достигали высоты большей чем 150 000 *км*. Автор видел всего, может быть, 3 или 4 протуберанца, превышающие 250 000 *км*, а Секки сообщает об одном в 480 000 *км*. 7 октября 1880 г. автор наблюдал один протуберанец, достигавший до сих пор не превзойденной высоты более 13′, или 560 000 *км*[1]. Когда впервые он был замечен, он находился на юго-восточном крае солнечного диска около $10^ч\ 30^м$ утра Он имел обычный вид «рога»; высота его составляла около 64 000 *км* и он не привлекал особого внимания. Через полчаса он сделался очень блестящим и увеличился вдвое; в течение следующего часа он поднимался кверху до тех пор, пока не достиг громадной указанной высоты и не рассыпался постепенно потухавшими полосами, и в $12^ч\ 30^м$ пополудни от него уже ничего не осталось. Телескопическое наблюдение не показало ничего, что бы пояснило такое необычайное изверже-

[1] Наибольший по высоте протуберанец наблюдался 19 ноября 1928 г. на Кодайканальской обсерватории Ройдсом посредством спектрогелиографа. Этот протуберанец достиг к концу наблюдений, прерванных облаками, высоты в 910 000 *км* над краем солнечного диска. — ***Прим. ред.***

ние, за исключением нескольких небольших не очень блестящих факелов. В то время как он быстро распространялся кверху, смещение спектральных линий показало сильное вихревое движение, а линии H и K были обращены по всей его высоте.

По своей форме и структуре протуберанцы так же различны, как и по величине. Все наблюдатели различают два главные класса: *спокойные облачные*, водородные и *эруптивные*, или *изверженные* металлические. У Секки каждый из классов подразделяется еще на подклассы или виды, среди которых, однако, не всегда легко найти различие.

Пожалуй, здесь как раз и нужно упомянуть, что Трувело (Trouvelot) настаивает на существовании «темных» выступов, т. е. облаков более охлажденного водорода, поглощающих проходящий свет лежащего позади них водорода; но это еще не доказано и мы думаем, что это не что иное как промежутки. С другой стороны, Таккини старается доказать существование «белых» выступов, дающих непрерывный спектр и поэтому не поддающихся спектроскопическому наблюдению, хотя и видимых для глаза и на фотографической пластинке во время полного затмения, как в 1883 г. и в декабре 1889 г. Но имеющиеся данные не оправдывают признания существования такого рода объектов.

Спокойные протуберанцы по форме и по строению почти совершенно похожи на наши земные облака и так же, как они, различаются между собою. Наиболее обычны среди протуберанцев все известные нам типы перистых и слоистых облаков, тогда как кучевые и слоисто-кучевые менее часты. Протуберанцы этого класса часто бывают огромной величины, особенно в их горизонтальном протяжении (однако, наибольшей высоты достигают протуберанцы эруптивные). Они сравнительно неизменны и часто в течение часов и дней остаются без серьезных перемен; вблизи полюсов они иногда остаются в течение 27 дней полного оборота Солнца. Иногда над краем солнечного диска они похожи на гряды облаков на горизонте, вероятно потому, что они так далеки от края диска, что видна

Три рисунка одного и того же протуберанца, наблюдавшегося 25 июля 1872 г.



Рис. 49.
Вид протуберанца в $2^ч\ 15^м$



Рис. 52.
Колосья.



Рис. 50.
Вид протуберанца в $2^ч\ 45^м$



Рис. 53.
Снопы и завитки



Рис. 51.
Вид протуберанца в $3^ч\ 30^м$
Масштаб 64 000 *км* в 1 *см*



Рис. 54.
Струи.

Рис. 49—54. Эруптивные протуберанцы.

только их верхняя часть. Когда же они видны целиком, то они обычно соединяются с лежащей снизу хромосферой тонкими колонками, утончающимися к основанию, и часто кажутся состоящими из отдельных волокон, переплетающихся и расширяющихся кверху. Иногда вся нижняя поверхность окаймлена висящими вниз волокнами, напоминающими летний ливень из тяжелой грозовой тучи. Иногда они парят совершенно свободно, отделенными от хромосферы. Вообще, как правило, слои облаков, сопровождающихся облачками, большей частью сгруппированными в горизонтальной плоскости.

Рисунки дают некоторое представление об общем виде протуберанцев этого класса, но их нежная, прозрачная красота может быть передана только гораздо более усовершенствованным способом гравюры.

Спектр протуберанцев обычно очень прост и состоит из четырех линий водорода и трех линий гелия и линий H и K. Иногда также появляются линии натрия и магния, а именно вблизи верхушек облаков, и это явление настолько часто наблюдается в ясной атмосфере горы Шермэн, что думается, что при достаточном увеличении силы наших спектроскопов оно перестанет быть необычным.

Происхождение протуберанцев такого рода представляет собой нерешенную проблему. Их обычно считали обломками и остатками извержений, состоящими из газов, выброшенных из недр Солнца и затем предоставленных течениям верхних частей солнечной атмосферы. Но вблизи солнечных полюсов никогда не появляются типичные эруптивные протуберанцы и не видно, чтобы воздушные течения переносили в эти области вещества, извергнутые около солнечного экватора. Да и весь вид этих объектов указывает на то, что они происходят на том самом месте, где мы их видим. Возможно, однако, что в полярных областях, где нет сильных извержений, медленное истечение нагретого водорода достаточно для того, чтобы их образовать — это выбрасывание происходит из маленьких пор солнечной поверхности, в изобилии находящихся повсюду около полюсов.



Рис. 55.
Облака.



Рис. 58
Размытый протуберанец



Рис. 56.
Волокна.



Рис. 59
Стволы (древовидные)



Рис. 57.
Султаны.



Рис. 60
Рога.

Рис. 55—60. Спокойные протуберанцы
Масштаб 43 000 *км* в 1 *см*.

Однако Секки сообщает наблюдение, которое, если оно правильно, придает вопросу совершенно иной характер *). Он видел, как образовывались отдельные облачка и внезапно разрастались без заметного соединения с хромосферой или с другими массами водорода, совсем, как в нашей атмосфере образуются облака водяных паров, постоянно находящихся в воздухе, но невидимых до тех пор, пока местное охлаждение или изменение давления не вызовет их конденсации. Эти протуберанцы образовались, следовательно, при каком-то местном нагревании или другом световом возбуждении всегда имеющегося водорода, а не от переноса или скопления веществ издалека. Невозможно определить точную природу сил, вызывающих этот эффект, но следует заметить, что спектроскопические наблюдения, сделанные во время затмения, подтверждают этот взгляд, показывая, что водород в условиях слабого свечения находится повсюду вокруг Солнца и на очень большой высоте, гораздо выше обычной высоты протуберанцев.

Действительно, во многих случаях формы и изменения протуберанцев этого класса так похожи на наши земные облака, что приходится согласиться с тем, что они окружены и плавают в среде, немного отличающейся от них самих по плотности, хотя и не видимой при спектроскопическом методе наблюдений».

Эруптивные протуберанцы

«Эруптивные протуберанцы значительно отличаются от спокойных: они более блестящие, более подвижные

---

*) 13 октября 1880 г. автор впервые наблюдал то же самое явление. Маленькое яркое облако появилось в этот день около 11 час. утра на расстоянии около 2',5 (108 000 *км*) над краем солнечного диска без всякой видимой причины и без видимого соединения с хромосферой снизу. Оно быстро росло без заметного поднятия или падения и в течение часа разрослось в широкое слоистое облако, неровное на верхней границе, но почти плоское снизу. С этой нижней поверхности повисли удлиняющиеся нити, и около $12^{ч} 30^{м}$ объект сделался обычным протуберанцем со стволом, похожим на рис. 59. Повидимому, это весьма необычно, потому что в течение более 20 лет наблюдений я встретился с этими явлениями всего три раза.



Рис. 61.
Вертикальные волокна.



Рис. 64.
Протуберанец, наблюдавшийся 7 сент. 1871 г. в 12 ч 30 м



Рис. 62.
Циклоны.



Рис. 65.
Тот же протуберанец через полчаса. Выброс водорода достиг высоты свыше 320 000 км.



Рис. 63
Языки пламени.



Рис. 66.
Пятно вблизи края солнечного диска, сопутствуемое струями водорода, наблюдавшееся 5 октября 1871 г

Рис. 61 — 66 Различные формы протуберанцев.

и интересные. Они обычно состоят из блестящих волосьев или струй, очень быстро меняющих свою форму и яркость. Большей частью они достигают высоты не более 30 000 или 50 000 *км*, но иногда они поднимаются гораздо выше самых больших облаков предыдущего класса. Спектр их очень сложный, особенно вблизи основания. Зачастую он изобилует яркими линиями, причем линии натрия, магния, бария, железа и титана особенно заметны, хотя и линии кальция, хрома, марганца и, вероятно, серы отнюдь не редки, поэтому Секки называет эти протуберанцы *металлическими*[1].

Они появляются обычно в непосредственном соседстве с пятнами и никогда не наблюдаются вблизи полюсов Солнца. Их форма и вид меняются с большой скоростью, так что движение почти можно заметить глазом; промежуток времени в 15—20 мин. часто бывает достаточен для того, чтобы изменить до неузнаваемости эту массу пламени, высотой в 80 000 *км*, а иногда этот промежуток охватывает весь период их полного развития и исчезновения. Иногда они состоят из заостренных лучей, направленных во все стороны подобно иглам ежа. Иногда они подобны пламени, или снопам колосьев, иногда похожи на кружащийся смерч, покрытый сверху большим облаком, иногда кажутся струями жидкого огня, летящими и падающими красивыми параболами. Часто они имеют на своих концах спирали, подобные спиралям ионических колонн, и постоянно от них отделяются нити, вырывающиеся на большую высоту, постепенно расширяющиеся, становящиеся все тоньше при подъеме и, наконец, пропадающие из вида. Наши рисунки (49—66) изображают несколько обычных типичных форм и иллюстрируют скорость их изменений, но нет конца числу любопытных и интересных образов, которые они принимают под влиянием изменяющихся условий.

Скорость движения часто превышает 160 *км/сек*, а иногда, хотя очень редко, достигает 320 *км/сек*. Что

[1] Линии серы в протуберанцах в действительности до сих пор не обнаружены. — *Прим. ред.*

ы имеем дело с настоящим движением, а не с простой переменой светящихся мест образования, доказывается тем фактом, что линии спектра часто смещены и искривлены таким образом, что они обнаруживают движение массы облаков именно с такой скоростью по направлению к Земле или от нее (и, конечно, касательно к солнечной поверхности)



Рис. 67. Движение протуберанцев, даваемое спектром.
Линия F в спектре хромосферы 3 августа 1872 г.

Рис. 67 изображает часть спектра протуберанца, наблюдавшегося на горе Шермэн 3 августа 1872 г., об этом наблюдении упоминалось в предыдущей главе. Линию F, у 208 деления шкалы, нужно представить себе ослепительно блестящей, красивые яркие линии появляются у 203,2, 208,8; 209,4 и 212,1 (по шкале Кирхгофа), тогда как две полосы непрерывного спектра, повидимому, обусловленные сжатием газов в точке максимального возмущения, простираются вдоль всей длины рисунка. В высшей точке возмущения линия F поднимается до штриха 207,4 шкалы, показывающей скорость 370 км/сек по направлению от нас. На низшей точке она достигает 208,7, что свидетельствует о движении к нам со скоростью около 400 км/сек. Весьма замечательно, что в этом быстром

движении водорода, повидимому, не участвуют другие вещества, которые представлены в это время в спектре своими яркими линиями; магний и натрий несколько вовлечены в это движение, но ни барий и ни неизвестный элемент солнечной короны не обнаруживают движения».

Наблюдения солнечного края для изучения протуберанцев производятся каждый ясный день на многих обсерваториях. В итальянских обсерваториях Рима и Катании такого рода наблюдения вели Секки, Таккини, Рикко (Ricco) и их коллеги в течение более полувека. Такая продолжительность однородных наблюдений чрезвычайно ценна *.

Протуберанцы и спектрогелиограф

Со времени введения спектрогелиографа протуберанцы стало возможно наблюдать гораздо успешнее чем прежде. На рис. 68 изображен большой спокойный протуберанец, сфотографированный Слокумом (Slocum) при помощи румфордовского спектрографа на Иеркской обсерватории. Высота протуберанца, изображенного на этом рисунке, составляет 1′6, или 69 000 *км*. Слокум утверждает, что этот протуберанец существовал непрерывно, по крайней мере 25 дней весной 1910 г., но Эвершед (Evershed) наблюдал его еще на 27 дней дольше. Его южная верхушка оставалась почти неподвижной на 20° южной широты, тогда как северный конец сильно изменялся: от экватора 4 марта к 25° северной широты 28 марта, и затем, возвращаясь, он достиг 10° южной широты 28 апреля. В кальциевых спектрогелиографических наблюдениях Слокума никогда нельзя было видеть выступов, проектирующихся на солнечный диск. Он видел их только на краю Солнца. Но Эвершед и Деландр много-

* В конце прошлого и в начале настоящего веков ряд наблюдений протуберанцев был получен в Москве, в Харькове и в Одессе в разное время. В СССР протуберанцы систематически наблюдались в 1923—1924 гг. в Симферополе, а с 1932 г. регулярно ведутся наблюдения на Ташкентской обсерватории. — *Прим. ред.*



Рис. 68. 17 марта 1910 г., 5 ч 30 м среднего гриничского времени; долгота 7°, широта от +17 до −18°



Рис. 69. 10 октября 1910 г., 7 ч 58 м среднего гриничского времени



Рис. 70. 10 октября 1910 г., 8 ч 00 м среднего гриничского времени.

Рис. 68 — 70. Спектрогелиограммы солнечных протуберанцев в линии H кальция (Слокум).

кратно их фотографировали, первый в линии H_2 кальция, последний в линии K_3 кальция и в линии $H\alpha$ водорода, появляющимся подобно длинному облаку на солнечном диске. Подобный их вид показан в лучах $H\alpha$ на фотографии, воспроизведенной на рис. 40 (стр. 92), по наблюдению Эллермана на обсерватории на горе Вильсона 30 апреля 1908 г.

Великолепные эруптивные протуберанцы иногда наблюдались спектрогелиографом. Рис. 69 и 70 изображают необычно красивый полуэруптивный протуберанец, сфотографированный 10 октября 1910 г. в линии H кальция Слокумом на Иеркской обсерватории. Хотя во всяком случае и не такой активный, как некоторые эруптивные протуберанцы, этот протуберанец быстро менялся, вследствие чего видна значительная разница в двух его снимках, разделенных промежутком времени только в 10 мин. Приблизительное положение было следующее: солнечная широта от 24 до 39° S, долгота 225°, высота 2',5 или 108 000 *км*.

Новейшие наблюдения спектра вспышки

Вслед за великим открытием Жансена и Локиера в 1868 г. на следующий год было совершено важное открытие на Солнце гелия — химического элемента, найденного на Земле только около 30 лет спустя. Юнг открыл «спектр вспышки» во время полного затмения 1870 г. Направив щель своего спектроскопа в то место, где должна была находиться хромосфера, и приготовив глаз к быстрому наблюдению, он увидел тотчас, после того как угас последний луч фотосферы, как вспыхнули яркие обращенные линии фотосферного спектра. Этот «спектр вспышки» был сфотографирован Шэкльтоном (Shackelton) только в 1896 г. с помощью призматической камеры.

Так как хромосфера имеет вид очень узкого серпа, то спектр может быть сфотографирован без щели и без коллиматора. Такой спектр изображен на рис 71 (стр. 175), воспроизводящем фотографию, снятую Митчеллом во время затмения 1905 г. Все линии спектра представлены дугами окружностей. Очень дли-

ные дуги соответствуют ярким линиям водорода и кальция. Эти элементы распространяются над Солнцем гораздо выше, чем другие, и, следовательно, видны дольше во время надвигания Луны.

Опасались, что астигматизм вогнутой решетки этого ценного лабораторного инструмента сделает ее непригодной для употребления без щели при изучении спектра вспышки. Щель при такого рода работе не желательна, ввиду лишней потери света. Произведенная в 1898 г. работа Митчелла, употреблявшего для фотографирования звездных спектров вогнутую решетку Роуланда, как объективную решетку без щели, проложила путь к употреблению решеток во время затмении. Они были употреблены впервые при фотографии спектра вспышки в 1900 г.

Успешные фотографические наблюдения спектра вспышки были сделаны во время многих затмений, начиная с 1896 г. до наших дней. Среди наблюдателей были Шэкльтон, Кэмпбелл, Эвершед, Дайсон, Джеуэлл, Фрост (Frost), Лорд (Lord), С. А. Митчелл (S. A Mitchell), Перрайн и другие Наблюдения показали, что спектр вспышки или спектр хромосферы, является в сущности обращением обычного спектра Фраунгофера, но с некоторыми замечательными изменениями. Многие из слабых фраунгоферовых линий, конечно, при этом не появляются. Вообще линии двух спектров имеют различные относительные интенсивности. Однако, беря линии какого-нибудь химического элемента отдельно, относительные интенсивности двух спектров не очень различны. Локайер, Эвершед и Дайсон обнаружили, что так называемые подчеркнутые, или искровые линии, более выделяются в спектре вспышки, чем в спектре фотосферы *. Причиной различия в интенсивности спектральных линий является, повидимому, то обстоятельство, что элементы высшего атомного веса менее заметны в спектре вспышки.

Дайсон из рассмотрения гриничских наблюдений затмении 1900, 1901 и 1905 гг. дал измеренные положе-

* Фрост и Митчелл сомневались в том, что это явление носит общий характер, но теперь Митчелл, повидимому, согласен с тем, что это так.

ния около 1 200 линий и отождествил их с большинством отдельных линий и групп линий таблиц Роуланда. Границы наблюдаемого спектра были от 3 295 Å в ультрафиолетовой части до 5 896 Å — в оранжевой. Среднее отклонение положений линий спектра вспышки от положения фраунгоферовых линий по Роуланду составляет 0,04 Å, но так как спектр Дайсона был призматическим, то эта разность была больше в зеленой и желтой частях. Дайсон нашел 26 ярких линий водорода, прекрасно согласовавшихся по положению с местами, устанавливаемыми сериальной формулой Бальмера. Гелий оказался также одним из наиболее выдающихся элементов. Химические элементы, найденные по спектральным линиям, имеют следующую последовательность:

Очень сильные линии: водород, гелий, магний, кальций, скандий, титан, хром, стронций.

Сильные: магний, железо, иттрий, цирконий, барий, лантан, церий, эрбий, европий.

Не очень сильные: углерод, алюминий, ванадий, неодимий.

Очень слабые: никель, кобальт, свинец.

Возможные: цинк, лантан, тантал.

Сомнительные: кремний, гадолиний и празеодимий.

Отсутствующие *: аргон, неон, криптон.

Плохо видимый в этих границах спектра: натрий.

Дуговые линии алюминия, магния, бария, цинка и свинца, повидимому, имеются, между тем как их подчеркнутые, или искровые линии не видны совсем или видны только слабо. На этом основании Дайсон считает, что эти элементы являются исключением, так как вообще подчеркнутые линии преобладают в спектре вспышки.

Высота различных металлов в хромосфере

Путем измерения длины дуг, видимых как линии спектра вспышки, наблюдатели определили высоту, до которой достигают элементы в хромосфере над общей

---

* Однако Митчелл склонен думать, что эти элементы представлены в спектре вспышки слабыми линиями.

поверхностью Солнца. Из доклада Нормана Локайера о наблюдениях затмения 1898 г. мы заимствуем следующие данные, для краткости заменив названия химических элементов общепринятыми обозначениями (см. табл. на стр. 172).

Джеуэлл из наблюдений затмений 1900 и 1901 гг. оценил высоту хромосферы соответственно отдельным линиям различных элементов. Он нашел, как и Локайер (см. выше), что различные линии одного и того же элемента дают очень разнообразные величины. Так, высота кальция бывает от 23 000 до 160 *км*, а титана от 5 600 до 160 *км*. Вообще его выводы показывают высокий уровень для водорода, гелия, магния, натрия и иттербия; низкий уровень для хрома, железа, кобальта, никеля, марганца, иттрия, кадмия, цинка, углерода (в виде циана) и ванадия; противоречивые уровни показали различные линии кальция, стронция, бария, скандия и титана. Большинство линий соответствует высоте менее одной секунды дуги (760 *км*). Джеуэлл рассматривает хромосферу как атмосферу водорода и немногих других постоянных газов с быстрым падением плотности от поверхности Солнца и содержащую как временные составные части другие элементы, являющиеся лишь продуктами извержения изнутри или падения метеоров извне.

Фрост и Митчелл, на основании наблюдений затмения 1900 и 1901 гг., дали также краткие таблицы с высотами, достигаемыми различными элементами в хромосфере, согласно указаниям индивидуальных линий спектра. Их результаты очень мало отличаются от вышеприведенных. Митчелл устанавливает, что длина значительного большинства линий указывает на высоты, не превосходящие 0",5, и считает 1" за среднюю высоту обращающего слоя.

Джеуэлл очень уместно обращает внимание на микроскопическое количество вещества, нужное для образования линий спектра. Так как для образования некоторых линий требуется меньше вещества, чем для других линий того же элемента, то это отчасти может быть причиной несоответствия между оценками высот по различным линиям этого элемента.

Элементы	Ca	H	He	Sr	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	C	Разные
Линии спектра	K	Не приведены	4 471 4 027	4 078 4 216	4 227	Ультрафиолетовые триплеты	3 944 3 962	Квартет 4 031 и др.	Много линий	Полоса	Много линий, включая дуговые линии железа
Средняя высота:											
В секундах дуги	13,3	10	7,5	6,0	4,4	4,4	3,2	2,4	от 3,2 до 1,4	1,05	1,05
В километрах	9 700	7 200	5 400	4 300	3 200	3 200	2 300	1 800	от 2 300 до 1 000	760	760

Наблюдения Митчелла в 1905 г.

Мой друг, проф. С. А. Митчелл, любезно предоставил мне, перед опубликованием, нижеследующее описание своего аппарата и результатов, полученных им как членом экспедиции Морской обсерватории США в Вашингтоне, для наблюдения полного затмения в августе 1905 г. Его спектр вспышки признан лучшим из полученных когда-либо спектров.

«Митчелл употреблял два спектрографа высокой дисперсии, оба с решетками. Первая, принадлежавшая Морской обсерватории, была 6-дюймовая плоская решетка с 15 000 штрихов в дюйме. Эта же решетка была употреблена им на Суматре в 1901 г., но в 1905 г. вместо кварцевой линзы был применен 5-дюймовый стеклянный ахроматический объектив. С этим инструментом было обращено особое внимание на красный конец спектра. Другой инструмент представлял собой 4-дюймовую решетку, нанесенную на параболической поверхности, а не на обычной сферической вогнутой поверхности. Эта решетка в 14 438 штрихов в дюйме и с 10-футовым радиусом кривизны давала очень яркий спектр первого порядка; по определению Джеуэтта она была одной из лучших решеток Роуланда и давала спектры, равные по яркости полученным обычной 6-дюймовой решеткой. Эта решетка, принадлежащая комитету Румфорда, была любезно предоставлена проф. Саундерсом (Saunders) из Сиракузского университета.

Такой спектрограф, употребляемый для исследования затмения, чрезвычайно прост. Свет от зеркала целостата, отраженный горизонтально, падает на решетку, которой рассеивается, и затем собирается в фокусе на фотографической пластинке, на расстоянии 1,5 *м*. Решетка и кассета помещены в деревянный ящик, и если решетка и фотографическая пластинка перпендикулярны к отраженным лучам, то спектр будет «нормальный». Так как спектр фокусировался на сферу с радиусом в 76 *см*, то невозможно было так выгнуть фотографическую пластинку, и поэтому употреблялись толстые желатиновые пленки. Спектры были отфокусиро-

ваны визуально при помощи коллиматора, состоящего из вогнутых зеркал и щели; были сделаны пробные фотографии для проверки фокуса ультрафиолетовых лучей; прекрасная фокусировка показана спектром вспышки, который был снят в первом порядке решетки.

Спектры, сфотографированные с параболической решеткой, простираются от λ 3 300 Å в ультрафиолетовой до линии D с 5 890 Å в оранжевой части спектра. Спектрограммы, полученные с плоской решеткой, простираются в красной части до линии C. Длина спектра с первой решеткой равна 24 *см*. Спектр почти на всем протяжении нормальный; следовательно, дисперсия такова: 1 *мм* = 10,8 Å. Эта дисперсия приблизительно равна дисперсии трехпризменного спектрографа, соединенного с большим ликским или иеркским телескопом. Так как при затмении решетка употреблялась в качестве объективной решетки без щели, то она имела дисперсию немного меньшую, чем ¼ дисперсии первого порядка, получаемой посредством 21,5-футовой решетки обычной установки Роуланда.

Как это видно из рисунка (рис. 71, где, к сожалению, большое количество мелких деталей пропало при репродукции), отчетливость прекрасная. Крайняя ультрафиолетовая часть не настолько в фокусе, как область между K и D, где отчетливость совершенна. Около 4 000 линий было измерено в области от λ 3 300 до λ 5 900. Вследствие наличия сильного непрерывного спектра во всем сфотографированном спектре было довольно трудно видеть спектральные линии, особенно, когда они были слабы. Так как спектральные линии изогнуты, то было необходимо измерять каждую из них в одном и том же месте. Более того, так как не употреблялось щели, то было необходимо измерять положение линии по отношению к краю лунного диска. Очевидно, что высота металлических паров над краем диска Солнца, образующих данную спектральную линию, находится в тесной связи с ее внешним видом на фотографической пластинке и что середина измеренной линии не даст ее точной длины волны.

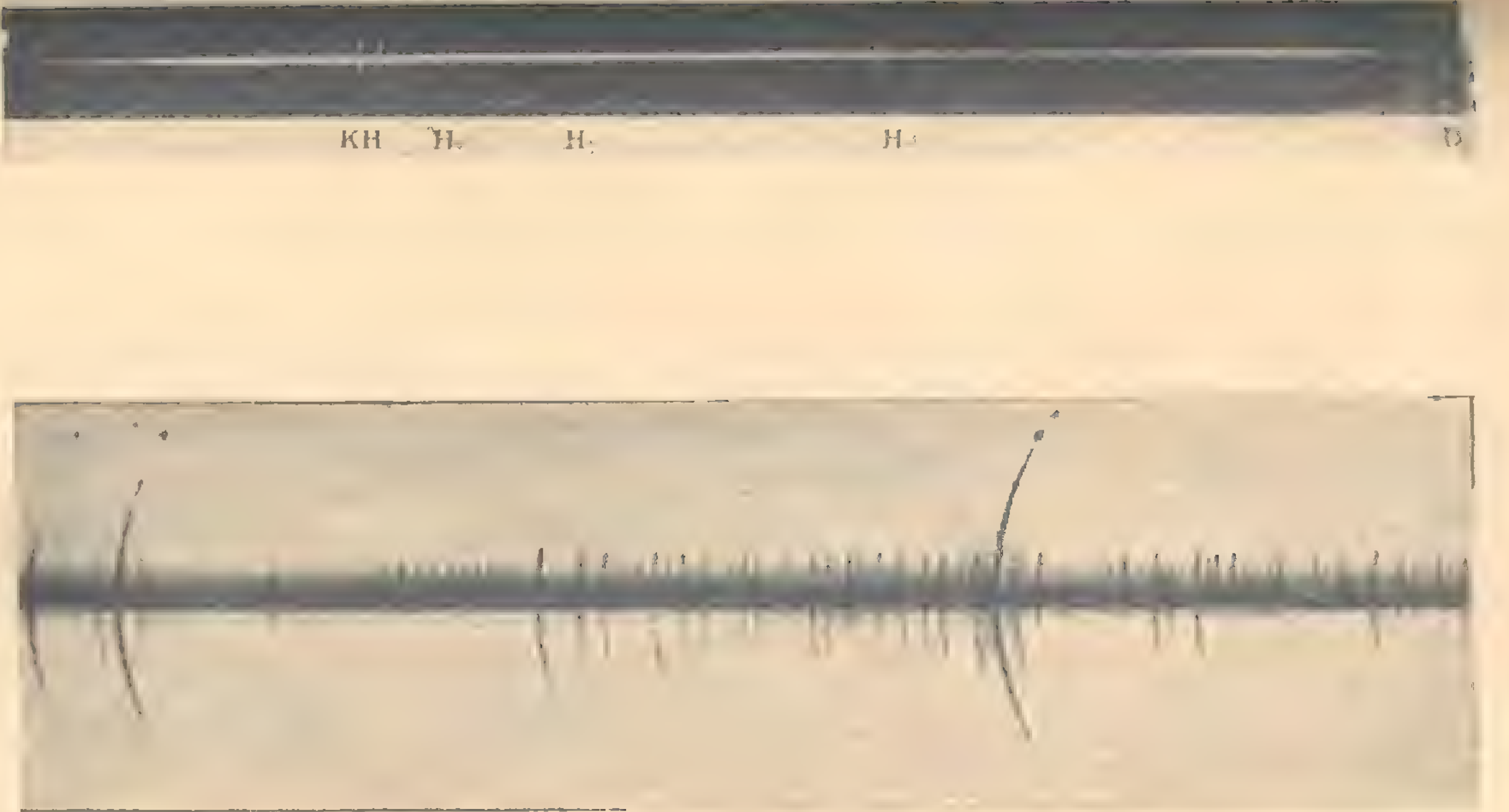


Рис. 71.

Рис. 72.

Рис. 71 — 72. Спектр вспышки 30 августа 1905 г. (Митчелл).

Предварительно длины волн линий вспышки были получены непосредственно из измерений. Они были сравнены с таблицами Роуланда. Каждая линия Роуланда, которая с несомненностью отождествлена, бралась как стандарт для получения привязанных значений длин волн линий вспышки. Меньшая дисперсия в спектре вспышки вызывала перекрытие линий Роуланда и при таком перекрытии трудно было решить, какую именно длину волны следует принять. Поэтому, если линии вспышки были отождествлены с отдельными линиями в таблицах Роуланда, то они были приняты за стандарт.

Так как значения шкалы были только приближенными, а спектр не был строго нормальным, то по мысли Рунге (Runge), профессора университета в Колумбии, в 1909—1910 гг. был применен способ наименьших квадратов. Результатом этого оказалось, что вероятная ошибка отдельного определения длины волны во всем спектре около ± 0,025 Å. Малый размер этой ошибки можно оценить, если припомнить, что измерялся ряд изогнутых серпов и что ошибка измерения в тысячную долю миллиметра или в один микрон составляет 0,01 Å.

Такая точность определения длины волны спектра вспышки дает возможность тщательного сравнения его со спектром Фраунгофера. Такого рода сравнение, с полной несомненностью, показывает, что спектр вспышки не что иное, как обращение фраунгоферовых линий. Почти каждая линия обычного солнечного спектра при интенсивности 3 или более по шкале Роуланда имеется в спектре вспышки; часто две или более линии сливаются в одну на фотографии, полученной с малой дисперсией. Хотя все яркие фраунгоферовы линии находятся в спектре вспышки, обратное заключение неверно, так как в спектре вспышки есть много ярких линий, которые не имеют соответствующих линий в обычном спектре. Кроме этого факта наблюдается еще замечательное различие интенсивности между линиями каждого из двух этих спектров.

Эвершедом было указано на то, что мы можем легко вообразить себе два различных газа в оболочке Солнца,

...ющие линии поглощения одинаковой интенсивности, но спектры излучения сильно различные по интенсивности линий. Тяжелый газ, лежащий тонким слоем над фотосферой, может поглощать солнечный свет в такой же точно степени, как менее плотный слой, распространенный на большие высоты. Так как Луна во время затмений постепенно закрывает слои, то более легкий газ в спектре вспышки дает линии большей интенсивности. Как хорошо известно, линии гелия являются яркими линиями в спектре вспышки, но в спектре Фраунгофера они отсутствуют. В спектре Митчелла 1905 г. насчитывается более 30 линий водородной серии. На рис. 72 дана сильно увеличенная часть спектра.

Для более близкого сравнения в табл. 10 даны результаты измерений спектра на протяжении 62 Å к красному концу от линии Hδ, т. е. от λ 4 102 до λ 4 164. В этой части, где были измерены 92 линии вспышки, в таблицах Роуланда имеется 82 линии с интенсивностью в 2 и более. Из этих 82 линий одна несомненно отсутствует в спектре вспышки, а именно линия Fe (с интенсивностью 4) λ = 4 154,976. Из 92 линий вспышки все были отождествлены, за исключением лишь немногих слабых линий. Замечательная точность определения длины волны этого спектра вспышки, далеко превосходящая все ранее опубликованные результаты, дает полную уверенность в правильности отождествления линий. Следовательно, можно заключить, что спектр вспышки есть обращение спектра Фраунгофера, но с заметными различиями в интенсивностях линий двух этих спектров (см. табл. 10 на стр. 178—180).

Измерение спектров 1905 г. подтвердило результаты, полученные Митчеллом в 1901 г. и состоявшие в установлении того факта, что водород (H), гелий (He), скандий (Sc), титан (Ti), стронций (Sr), ванадий (V), Zr, Y, Cr, Mn, Nd и Ce обнаруживаются с большей силой в спектре вспышки, чем в спектре фотосферы, по сравнению с линиями других элементов. Эти результаты затмения подтверждают также усиление подчеркнутых линий».

Таблица 10

Измерение 92 линий спектра вспышки в области линии Hδ

Спектр вспышки		Длина волны по Роуланду	Число перекрывающихся линий	Элемент, которому принадлежит линия	Интенсивность и характер	Примечание
Интенсивность	Длина волны					
50	4102,00	4102,000	—	Hδ	40N	
1	4103,10	4103,097	—	Si, Mn	5	
0	4103,65	4103,622	2	?	1	
2	4104,27	4104,288	—	Fe	5	
0	4104,65	4104,623	—	Co, V	0	
3	4105,21	4105,245	2	—, V	3	
2	4106,49	4106,502	2	Fe	4	
2	4107,64	4107,649	—	Ce, Fe, Zr	5	
0	4108,68	4108,687	—	?	2	
3	4109,37 }	4109,215 }	—	Fe	3	
3	4109,88 }	4109,609 }	—	Nd?	1	
—		4109,905	—	V	2	
2	4110,63	4110,691	—	Co	4	
1	4111,62	—	—	?	—	
2	4111,97	4111,940	—	V	4	
0	4112,45	4112,478	—	Fe	2	
0	4112,89	4112,869	—	Ti	1	
1	4113,24	4113,183	2	Fe, Mn	4	
2d	4114,00	—	—	?	—	
3	4114,73	4114,769	2	Fe, —	6	
3	4115,35	4115,330	—	V	3	
1	4116,14	4116,138	—	?	0	
2d	4116,78	4116,738	3	V, Nd?	2	
1	4118,02	4118,008	—	?	2	
5	4118,85	4118,852	3	Fe, Co	11	
0	4119,53	4119,550 }	—	Fe	1	
0	4119,74	4119,751 }	2	?	1	
0	4120,12	4120,075 }	—	?	0	
1	4120,35	4120,368	—	Fe	4	
2	4120,93	(4120,973)	—	He	—	Линия гелия 4120,973
3	4121,46	4121,477	—	Cr, Co	6d?	
1d	4122,02	4122,049	2	Fe, Ti, Cr	4	
3	4122,80	4122,819	—	?	1	

Продолжение

Спектр вспышки: интенсивность	Спектр вспышки: длина волны	Длина волны по Роуланду	Число перекрывающихся линий	Элемент, которому принадлежит линия	Интенсивность и характер	Примечание
[illegible]	4123,45	4123,477	2	La, Mn	3	
3	4123,93	4123,907	—	Fe	5	
2	4124,95	4124,938	—	?	2	
1	4125,93	4125,900	3	Fe, —	7	
1	4126,35	4126,344	—	Fe	4	
1	4126,66	4126,673	—	Cr	2	
5	4127,86	4127,872	2	Fe	8	
5	4128,25	4128,251	—	Ce, V	6d?	
0	4128,91	4128,894	—	?	2	
1	4129,41	4129,448	2	Ce, —	5	
5	4129,88	4129,882	—	Eu	1	
2	4130,83	4130,804	—	Ba	2	
0	4131,46	—	—		—	
		4132,100 }	—	V	2 }	
3d	4132,16	235 }	—	Fe	10 }	
1	4133,05	4133,062	—	Fe	4	
2d	4133,93	4133,908	3	Fe, Ce	5	
2	4134,49	4134,492	—	Fe	3	
5	4134,84	4134,840	—	Fe	5	
2d?	4135,56	4135,529	2	?	1	
1	4136,02	—	—	?	—	
2	4136,69	4136,678	—	Fe	4	
3	4137,26	4137,156 }	—	Fe	6 }	
		4137,567 }	—	?	2 }	
4	4137,79	4137,809	—	Fe, Ce	1	
0	4138,31	4138,324	2	?	1	
1	4139,08	4139,008	—	?	0	
0	4139,57	—	—	?	—	
1	4140,24	4140,245	2	Fe, —	9	
1	4141,81 }	4141,809	—	La	0 }	
1	4142,03 }	4142,025	—	Fe	4 }	
2	4142,56 }	4142,542	4	Cr, —	8 }	
3	4143,28	(4143,30)	—	?	—	Линия Nd с λ 4143,30
6	4144,05	(4143,919) }	—	He	—	Линия He
		4144,038 }	—	Fe	15	с λ 4143,919

Продолжение

Спектр вспышки		Длина волны по Роуланду	Число перекрывающихся линий	Элемент, которому принадлежит линия	Интенсивность и характер	Примечание
Интенсивность	Длина волны					
2	4144,63	4144,674	—	Ce	0Nd?	
[illegible]	4145,13 }	4145,152	—	C[illegible]	0 }	
0	4145,37 }	4145,357	—	?	1 }	
1	4145,84	4145,840	2	?	1	
3	4146,23	4146,225	—	Fe	3	
0	4147,12	4147,145	—	?	2	
2	4147,69	4147,713	3	Mn, Fe	7	
1	4148,98	4148,948	—	Mn	0	
10	4149,37	4149,360	—	Zr	2	
[illegible]	4150,03	4149,923 }	—	?	2 }	Отождествление сомнительно
		4150,056 }	—	C[illegible]	00 }	
0	4150,40	4150,411	—	?	4	
1	4150,68	—	—	?	—	
3	4151,18	4151,129	—	Zr, Ti	1	
6	4152,23	4152,248	3	La, Fe, Ce	6	
0	4152,68	—	—	C	—	
0	4153,51	4153,542	—	Fe	1	
2d	4154,09	4154,112	2	Cr, Fe	5	
3	4154,65	4154,667	—	Fe	4	
6	4156,30	4156,339	4	Nd, Zr	5	
3	4157,00	4156,970	—	Fe	3d?	
3	4158,00	4157,948	—	Fe	5	
2d	4159,00	4158,959	—	Fe	5	
0	4159,40	4159,353	—	?	5	
0d	4160,57	4160,53	—	?	2	Гассельбург дает V λ 4160,57
1	4161,23 }	4161,239	—	?	2	
5	4161,65 }	4161,682	—	—	1	Линия искры Ti
2	4162,79	4162,724	2	?	2N	
10	4163,82	4163,818	—	Ti, Cr	—	Линия искры Ti

Наблюдения Кемпбелла

Проф. Кемпбелл изобрел и с успехом применял при нескольких последних затмениях спектроскоп с движущейся пластинкой. Он начинал экспозицию незадолго до наступления полной фазы, и по мере опускания пластинки фотографировал спектр определенное время непрерывной серией. Такой прием был применен для того, чтобы получить полную историю спектра в его изменении от спектра фотосферы (рассеянного света воздухом) до спектра хромосферы, или спектра вспышки. Хорошо известно, что проф. Кемпбелл и другие члены экспедиции Ликской обсерватории получили превосходные спектры с этим и с другими аппаратами во время последних затмений. Такие наблюдения приобретают новое значение в связи с развитием атомной физики. Солнце — это лаборатория высоких температур.

Спектр хромосферы при полном дневном освещении

Недавно Адамс на Солнечной обсерватории на горе Вильсона получил много фотографий спектра хромосферы при полном солнечном освещении. Этот метод превосходит по точности измерения длин волн и может соперничать в деталях с лучшими «спектрами вспышки», получаемыми во время полных затмений. Наблюдения Адамса были сделаны с 60-футовым башенным телескопом и 30-футовым спектроскопом с плоской решеткой. Успех зависел от получения наиболее резкого изображения Солнца, так что щель спектроскопа можно было держать в точности у самого края диска без того, чтобы свет фотосферы «залил край» и перекрыл спектр с яркими линиями. Хромосфера представляет собой слой настолько тонкий, что, при затмении надвигающейся Луной, он закрывается в течение весьма немногих секунд. Поэтому при полном затмении недостаточно времени для экспозиции с щелевым спектрографом большой дисперсии; в силу этого обычно употребляется бесщелевой спектрограф средней дисперсии. Следовательно, практически невозможно получить из

снятого при затмении «спектра вспышки» насто... точные длины волн, как это необходимо для того, ... бы уловить тончайшие детали, характеризующие ... рия, господствующие в хромосфере, и ее природу. По этому большим достижением являются наблюдени... с большой дисперсией при полном солнечном сия... как дополнение к работам во время затмения; особ...но это относится к красному концу спектра, когда фо... графирование требует длинных экспозиций. С целью продолжения работы, начатой Адамсом с 60-футовым башенным телескопом, Хэл начал подготовительные работы с еще большими изображениями Солнца. Это одно из многих ценных исследований, для которого нужен 150-футовый башенный телескоп.

В работе, впоследствии опубликованной Хэлом и Адамсом, число ярких линий оказалось значительно меньше, чем полученное Митчеллом во время затмения 1905 г. Некоторые наблюдающиеся при этом различия, повидимому, указывают на то, что уровни спектра, снятого при полном дневном свете, ниже уровней, полученных из лучших наблюдений затмении. Длины волн ярких линий оказались практически тождественными с длинами волн соответствующих темных линий фотосферы. Это обстоятельство, как замечают Хэл и Адамс, не подтверждает точки зрения Юлиуса (Julius), состоящей в том, что яркие линии «спектра вспышки» обязаны своим происхождением аномальной рефракции света у самого края солнечного диска, так как в этом случае, вероятно, происходил бы сдвиг наблюдаемых длин волн в сторону красного конца спектра по сравнению с длиной волны темных линий фотосферы; более подробно об этом будет сказано в следующей главе. Однако Юлиус утверждает, что границы расхождении между положением ярких и темных линий, по данным Хэла и Адамса, оставляют почву для его теории аномальной дисперсии. Однако для того чтобы сделать такую интерпретацию возможной, Юлиусу приходится вообразить «солнечную атмосферу состоящей как бы из пузырей с неправильными градиентами плотности, которые могут быть круче, чем общий радиальный градиент нижележащих слоев». Поэтому он находи...

возможным, что смещение линий хромосферы относительно фраунгоферовых линий может происходить как в сторону красного, так и в сторону фиолетового конца спектра. Большинство наблюдателей стоит, однако, на той точке зрения, что спектр хромосферы по существу есть обращенный спектр Фраунгофера и кажется у края ярким, а не темным, потому что там нет такого чрезвычайно блестящего фона спектра, который затмевает, при сопоставлении, собственную яркость самих линий.

ГЛАВА ПЯТАЯ

СОЛНЕЧНЫЕ ПЯТНА, ФАКЕЛЫ И ГРАНУЛЯЦИЯ

Периодичность солнечных пятен. — Движение солнечных пятен. — Распределение солнечных пятен. — Образование солнечных пятен и история их жизни. — Уровень солнечных пятен. — Типичное солнечное пятно по Ланглэю. — Факелы. — Грануляция. — Спектр солнечных пятен. — Относительно низкая температура солнечных пятен. — Солнечные пятна и магнетизм. — Радиальные движения в полутени пятен.

Пятна были замечены и случайно наблюдались значительно раньше, чем стало известно их солнечное происхождение; история же солнечных пятен как солнечных явлений начинается с 1610 г., когда они были открыты независимо Фабрициусом (Fabricius), Шейнером (Scheiner) и Галилеем. Открытие естественно последовало за изобретением в Голландии в 1608 г. телескопа.

Первоначально существовало некоторое сомнение (не разделявшееся Фабрициусом и Галилеем) в том, не являются ли солнечные пятна планетами. Солнечные пятна одно время во Франции назывались «бурбонскими звездами».

При рассматривании в телескоп или при проектировании на экран солнечные пятна хорошо видны и представляются состоящими из двух легко различимых частей: из ядра, кажущегося очень темным, и из серой полутени, окаймляющей ядро. Солнечные пятна сильно различаются по величине, форме и темноте. Большие пятна бывают в 1/20 диаметра Солнца, т. е. впятеро больше диаметра Земли, а группы пятен иногда простираются на площади более 1/10 диаметра Солнца, но такие большие пятна и покрытые пятнами площади бывают редко.

Периодичность солнечных пятен

В результате приблизительно двадцатилетних систематических наблюдений Швабе (Schwabe) из Дессау открыл в 1843 г., что в ходе солнечных пятен имеется периодичность. Наибольшее число пятен повторяется приблизительно через одиннадцать лет, в промежутках же пятна почти отсутсвуют в течение одного-двух лет.

Эта периодичность солнечных пятен была подробно изучена Вольфом (Wolf) в Цюрихе, который характеризовал количество пятен по системе, теперь названной «относительным числом Вольфа». Оно вычисляется по формуле:

$$r = k(10\,g + f),$$

где r — «число Вольфа», g — число наблюденных групп и отдельных пятен, f — общее число пятен как насчитанных в этих группах, так и отдельных, и k — множитель, зависящий от условий наблюдения и от употребляемого инструмента. Вольф принял k за единицу для своих наблюдений с 3-дюймовым телескопом и с увеличением в 64 раза.

Наблюдатель при менее благоприятных условиях или наблюдатель менее внимательный будет получать k больше единицы, наблюдатель же с большим телескопом и при хороших условиях наблюдений получит дробное значение k. Числа Вольфа кажутся произвольными, однако путем сравнений с фотографиями было установлено, что они близко пропорциональны площадям, покрытым пятнами. Относительное число, равное ста, соответствует приблизительно тому, что $\frac{1}{[illegible]}$ видимого солнечного диска покрыта пятнами, считая тень и полутень.

Вольф, пользуясь всеми имеющимися источниками, продолжил вычисление своих относительных чисел назад до 1610 г. Его последователь Вольфер (Wolfer) продолжает ряд Вольфа после его смерти, последовавшей в 1893 г., до настоящего времени. На рис. 73, 74 и 75 представлен ход пятен за весь этот промежу-

ГЛАВА ПЯТАЯ

СОЛНЕЧНЫЕ ПЯТНА, ФАКЕЛЫ И ГРАНУЛЯЦИЯ

Периодичность солнечных пятен. — Движение солнечных пятен. — Распределение солнечных пятен. — Образование солнечных пятен и история их жизни. — Уровень солнечных пятен. — Типичное солнечное пятно по Ланглэю. — Факелы. — Грануляция. — Спектр солнечных пятен. — Относительно низкая температура солнечных пятен. — Солнечные пятна и магнетизм. — Радиальные движения в полутени пятен.

Пятна были замечены и случайно наблюдались значительно раньше, чем стало известно их солнечное происхождение; история же солнечных пятен как солнечных явлений начинается с 1610 г., когда они были открыты независимо Фабрициусом (Fabricius), Шейнером (Scheiner) и Галилеем. Открытие естественно последовало за изобретением в Голландии в 1608 г. телескопа.

Первоначально существовало некоторое сомнение (не разделявшееся Фабрициусом и Галилеем) в том, не являются ли солнечные пятна планетами. Солнечные пятна одно время во Франции назывались «бурбонскими звездами».

При рассматривании в телескоп или при проектировании на экран солнечные пятна хорошо видны и представляются состоящими из двух легко различимых частей: из ядра, кажущегося очень темным, и из серой полутени, окаймляющей ядро. Солнечные пятна сильно различаются по величине, форме и темноте. Большие пятна бывают в $^1/_{20}$ диаметра Солнца, т. е. впятеро больше диаметра Земли, а группы пятен иногда простираются на площади более $^1/_{10}$ диаметра Солнца, но такие большие пятна и покрытые пятнами площади бывают редко.

Периодичность солнечных пятен

В результате приблизительно двадцатилетних систематических наблюдений Швабе (Schwabe) из Дессау открыл в 1843 г., что в ходе солнечных пятен имеется периодичность. Наибольшее число пятен повторяется приблизительно через одиннадцать лет, в промежутках же пятна почти отсутствуют в течение одного-двух лет.

Эта периодичность солнечных пятен была подробно изучена Вольфом (Wolf) в Цюрихе, который характеризовал количество пятен по системе, теперь названной «относительным числом Вольфа». Оно вычисляется по формуле:

$$r = k\,(10\,g + f),$$

где r — «число Вольфа», g — число наблюденных групп и отдельных пятен, f — общее число пятен как насчитанных в этих группах, так и отдельных и k — множитель, зависящий от условий наблюдения и от употребляемого инструмента. Вольф принял k за единицу для своих наблюдений с 3-дюймовым телескопом и с увеличением в 64 раза.

Наблюдатель при менее благоприятных условиях или наблюдатель менее внимательный будет получать k больше единицы, наблюдатель же с большим телескопом и при хороших условиях наблюдений получит дробное значение k. Числа Вольфа кажутся произвольными, однако путем сравнений с фотографиями было установлено, что они близко пропорциональны площадям, покрытым пятнами. Относительное число, равное ста, соответствует приблизительно тому, что 1/[illegible] видимого солнечного диска покрыта пятнами, считая тень и полутень.

Вольф, пользуясь всеми имеющимися источниками, продолжил вычисление своих относительных чисел назад до 1610 г. Его последователь Вольфер (Wolfer) продолжает ряд Вольфа после его смерти, последовавшей в 1893 г., до настоящего времени. На рис. 73, 74 и 75 представлен ход пятен за весь этот промежу-

ток времени *). Легко видеть, что максимумы и минимумы отделены неодинаковыми промежутками времени, так что, хотя средний интервал солнечных пятен равен 11,13 года, индивидуальные периоды, согласно вычислениям профессора Ньюкома, колеблются между крайними значениями в 7,3 и 17,1 года. Эта особенность иллюстрируется табл. 11.

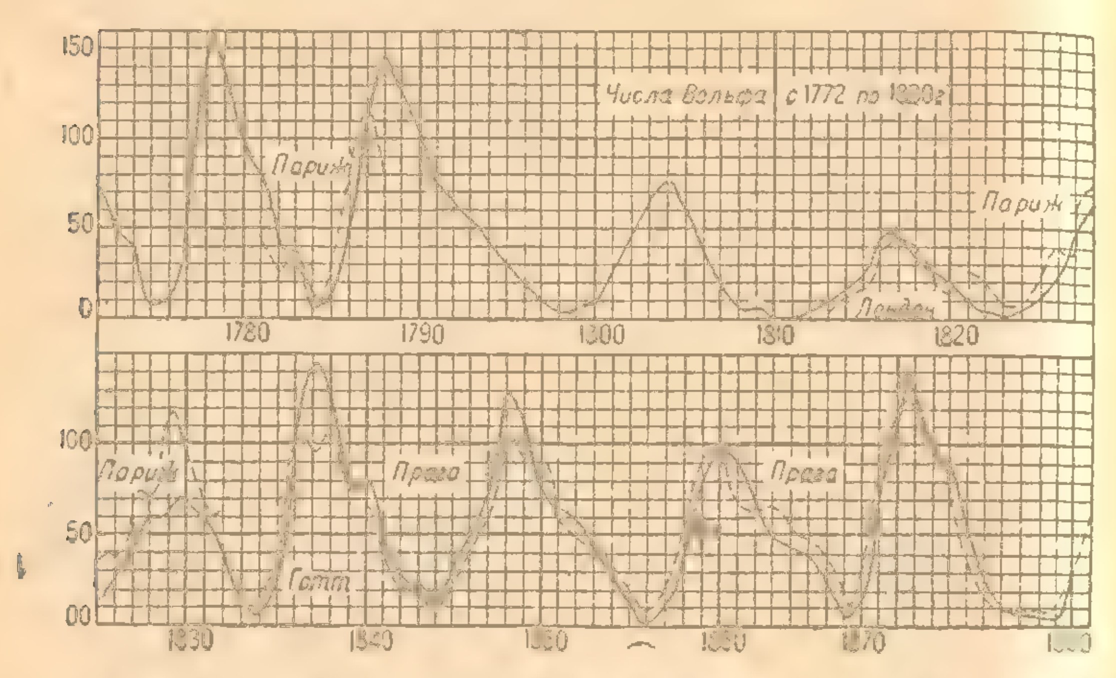


Рис. 73 Солнечные пятна и земной магнетизм (по Вольфу и Юнгу)

Сплошные кривые — числа Вольфа, прерывистые кривые — суточное возмущение магнитного склонения.

Ньюком нашел, что средний промежуток времени возрастания пятен составляет 4,62 года, а средний промежуток времени их уменьшения — 6,51 года. Изучив весь интервал от 1610 до 1898 гг. в трех частях, он пришел к такому заключению: «В основе периодических изменений активности пятен лежит один и тот же цикл, неизменный со временем и определяющий общую среднюю активность».

*) На рис 73 включение новых данных привело к следующим изменениям:

Год . . .	1800	1801	1802	1803	1804	1805	1806
Среднее	15,0	33,7	44,1	43,0	46,8	42,5	27,3

Эти данные соответствуют серединам отдельных годов

Таблица 11

Годы максимумов и минимумов солнечных пятен

Минимум	Разность	Максимум	Разность	Числа Вольфа для максимума
1610,8		1615,5	—	—
1619,0	8,2	1626,0	10,5	—
1634,0	15,0	1639,5	13,5	—
1645,0	11,0	1649,0	9,5	—
1655,0	10,0	1660,0	11,0	—
1666,0	11,0	1675,0	15,0	—
1679,5	13,5	1685,0	10,0	—
1689,5	10,0	1693,0	8,0	—
1698,0	8,5	1705,5	12,5	—
1712,0	14,0	1718,2	12,7	—
1723,5	11,5	1727,5	9,3	—
1734,0	10,5	1738,7	11,2	—
1745,0	11,0	1750,3	11,6	83
1755,2	11,2	1761,5	11,2	80
1766,5	11,3	1769,7	8,2	103
1775,5	9,0	1778,4	8,7	151
1784,7	9,2	1788,1	9,7	133
1798,3	13,6	1805,2	17,1	47
1810,6	12,3	1816,4	11,2	46
1823,3	12,7	1829,9	13,5	67
1833,9	10,6	1837,2	7,3	137
1843,5	9,6	1848,1	10,9	125
1856,9	12,5	1860,1	12,0	95
1867,2	11,2	1870,6	10,5	132
1878,9	11,7	1883,9	13,3	65
1889,6	10,7	1894,1	10,2	84
1901,6	12,0	1906,4	12,3	60
1913,4	11,8	1917,6	11,2	154
1923,6	10,2	1928,7	11,1	98

Читатель легко заметит, что кривые солнечных пятен не только сильно различаются по длине отдельных периодов, но также и по активности, измеряемой максимальным числом наблюденных пятен. Локаиер указывает на существование связи между продолжительностью, периодом и степенью активности, о которой упоминал также Хальм и которая была окончательно подтверждена Вольфером. Назовем интервал времени от минимума до следующего за ним максимума через a и от максимума до следующего минимума через b. Изменения a и изменения отношения $a:b$ обладают обратным ходом по сравнению с интенсивностью пятнообразовательной деятельности в отдельных периодах Иными словами, чем интенсивнее идет в данном периоде нарастание числа солнечных пятен, тем короче время, потребное для их развития в сравнении с периодом уменьшения их числа.

Интересно также заметить, что интервал от минимума до максимума всегда значительно меньше, чем от максимума до минимума. В гл. X будет обращено внимание на сходство этой особенности с некоторыми характерными изменениями в звездах, представителем которых является звезда Дивная Кита.

Причины, которые вызывают появление солнечных пятен, до сих пор остаются неясными, или, пожалуй, лучше сказать, совершенно неизвестными; причины периодичности и неправильности периодов, разумеется, тоже неизвестны. Была сделана попытка связать период пятен со временем обращения планет, и действительно, средняя длина периода солнечных пятен недалека от периода обращения Юпитера (11,86 лет). Но до сих пор не получено удовлетворительного совпадения с этими явлениями. Недавно Шустер применил математический анализ для того, чтобы выявить вторичные периоды, которые налагаются на средний период солнечных пятен в 11,13 года. Он нашел три ярко выраженных периода: 11,125 лет, 8,32 года и 4,77 года. Как курьез математического совпадения он замечает, что сумма обратных величин первых двух периодов равна обратной величине третьего, и что всем трем приблизительно кратно $33\frac{3}{8}$ года. Он нашел, что отн

сительная интенсивность пятнообразования для его трех периодов различна, отчего их комбинирование дает неодинаковые полные периоды. Он склонен причину солнечных пятен видеть вне Солнца, возможно в потоках метеоров. В гл. VI мы укажем еще на точку зрения Бьеркнеса (Bjerkness).

Ряд явлений, одни на Солнце, другие на Земле, несомненно, тесно связаны с солнечными пятнами и имеют такую же периодичность. Во-первых, факелы или яркие пятна на солнечной поверхности, которые всегда наиболее обильны в соседстве с солнечными пятнами, естественно имеют максимум и минимум в то же самое время. Во-вторых, протуберанцы, как установлено в предшествующей главе, наиболее многочисленны при максимуме солнечных пятен и становятся малочисленней, хотя это изменение и не так заметно, когда число пятен уменьшается. В-третьих, форма солнечной короны несомненно испытывает периодические изменения одновременно с циклом солнечных пятен. Так, мы говорим о солнечной короне, имеющей вытянутые экваториальные лучи, подобные наконечникам стрел, как о «короне минимума солнечных пятен», и о короне, развитой примерно во всех направлениях, как о «короне максимума солнечных пятен». В-четвертых, на Земле полярные сияния (северные и южные), как показал Лумис (Loomis) и многие другие, следуют за периодичностью солнечных пятен. В-пятых, изменения магнитного поля Земли протекают совершенно синхронно с изменением числа солнечных пятен.

Последняя связь весьма тесная, согласие доходит до параллелизма даже в мелочах, как можно видеть из кривых на рис. 73 и 74. Большие солнечные пятна часто оказываются непосредственными возбудителями сильных магнитных возмущений (магнитные бури) и разыгрывающихся полярных сияний. Маундер (Maunder) нашел, что магнитные возмущения кажутся возбуждаемыми ограниченными областями на Солнце, не обязательно заключающими солнечные пятна, и что эти возмущения исходят в определенных направлениях или скорее в направлении определенных областей в несколько градусов (на Солнце) в диаметре, которые вра-

щаются вместе с Солнцем*. Когда такое «направление» встречает Землю, возникает магнитная буря. Такие линии влияния не обязательно, полагает он, идут по радиусу Солнца, но они могут итти и вдоль корональных лучей. В-шестых, температура воздуха у поверхности Земли в целом ниже при максимуме солнечных пятен, чем при их минимуме. Эта зависимость по крайней мере обнаружена для США (рис. 74). Разность средних температур Земли составляет обыкновенно от 0,5 до 1,0° при изменении относительного числа пятен на 100, как это было показано статистическими исследованиями температур, произведенными Кёппеном (Köppen), Нордманом (Nordmann), Ньюкомом, Абботом, Фоулем (Fowle), Арктовским (Arctowski) и Бигелов. К рассмотрению этого вопроса мы еще вернемся в гл. VII. Многие другие земные явления, как выпадение дождя, облачность, число циклонов, различные паники, цены на хлеб, голод, нарастание древесины, даже лёт насекомых были всерьез сравнены с изменением солнечных пятен, хотя такая зависимость во многих случаях, по-видимому, была фантастической.

Открытие Хэлом магнитного поля в солнечных пятнах описано на стр. 211. Обнаружены замечательные соотношения. Солнечные пятна часто идут парами, а у каждого непарного пятна вблизи всегда находится второй магнитный полюс. Полярности в паре всегда противоположны**. Более того, если восточное пятно пары в северном полушарии Солнца имеет северную полярность, то то же непременно будет у всех других пар пятен северного полушария в продолжение данного 11-летнего цикла, но в южном полушарии соответствующие (восточные) пятна будут южной полярности. В следующий 11-летний цикл полярности будут обратными, так что для завершения полного магнитного цикла требуется 22,6 года. Начиная с 1810,6 г. пять та

---

* Шерман (Shearman) в Торонто открыл также периодичность полярных сияний, приблизительно совпадающую с периодом вращения Солнца.

** Если одно пятно пары имеет северный магнетизм, то другое имеет южный. — *Прим. перев.*

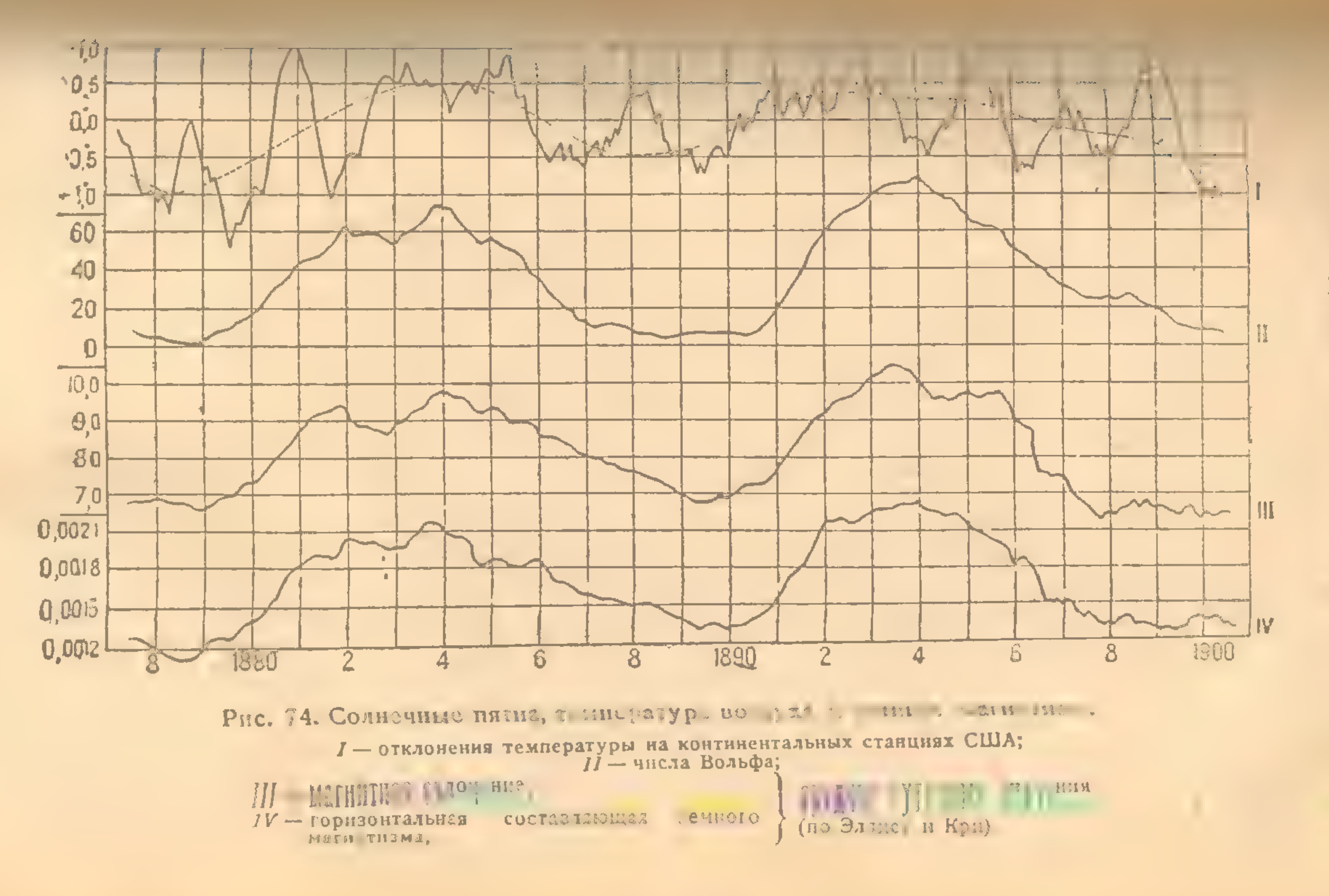


Рис. 74. Солнечные пятна, [illegible].

I — отклонения температуры на континентальных станциях США;
II — числа Вольфа;
III — магнитное склонение,
IV — горизонтальная составляющая земного магнетизма,
[illegible] (по Эллису и Кри)

ких циклов простираются до 1923,6 г., — продолжительностью в 23,3, 22,1, 22,9, 22,7 и 22,0 года, как и у табл. 11. От 1810 г. и назад неправильность больше.

Движение солнечных пятен

Вообразим наблюдателя, находящегося на Луне и следящего за облаками, окутывающими Землю. Такой наблюдатель увидит бы, что облака в целом указывают на существование среднего периода вращения Земли продолжительностью около 24 часов. Но он также открыл бы, что многие, а может быть и все облачные массы обладают собственными движениями в определенных направлениях так, что каждое облако в отдельности не будет давать правильного периода вращения Земли. То же относится и к солнечным пятнам; кроме движения со средним периодом вращения Солнца каждое пятно имеет еще свое собственное движение. Каррингтон нашел у пятен между 20° северной и 20° южной широты некоторую тенденцию приближаться к экватору, а у пятен вне этой области — более определенно выраженную тенденцию приближаться к полюсам. Фай (Faye) считал, что пятна постоянно описывают на солнечной поверхности маленькие эллипсы с периодом в один или два дня. Говорят, что активно изменяющееся пятно имеет свойство двигаться вперед неправильными скачками. Когда пятно делится, его части способны быстро расходиться одна от другой.

Распределение солнечных пятен

Солнечные пятна очень редко появляются на широтах, больших 40°. В пределах пояса солнечных пятен, шириною в 80°, распределение пятен не равномерно. Большинство их встречается в двух зонах, по обе стороны экватора, между широтами 10° и 30°. По отношению к северному и южному полушариям числа появления пятен за долгий период лет практически равны, но для нескольких последовательных лет встречаются большие неравенства. Замечательный случай такой неправильности имел место между 1672 и 1704 гг., когда

в северном полушарии не было обнаружено ни одного пятна, а появление нескольких пятен в 1705 г. было отмечено Французской академией, как совершенно необычайное явление. Ньюком обращает внимание на то, что в продолжение четырех циклов с 1856 по 1898 имело место резкое и возрастающее преобладание пятен в южном полушарии. Особенность распределения солнечных пятен, имеющая, повидимому, большое теоретическое значение, была открыта Шперером и подтверждена гриничскими наблюдениями. Оказывается, что имеется тесная связь между преобладающей широтой и периодичностью солнечных пятен. Юнг излагает это обстоятельство следующим образом:

«Вообще говоря возмущения, которые производят пятна данного периода, прежде всего проявляются в двух поясах — около 30° к северу и к югу от солнечного экватора. Эти пояса затем стягиваются к экватору и максимум солнечных пятен наступает, когда их широта около 16°; далее возмущение спадает и, наконец, совсем прекращается при широтах 8—10°, спустя примерно 12 или 14 лет после его появления. За 2 или за 3 года до этого исчезновения обнаруживаются, однако, две новых зоны возмущений. Таким образом в минимуме солнечных пятен имеется четыре хорошо заметных пояса пятен; два вблизи экватора, обязанные угасающему возмущению, и два на высоких широтах, обязанные началу нового возмущения. Это показывает, что истинная продолжительность цикла солнечных пятен составляет от 12 до 14 лет, причем каждый цикл начинается с больших широт раньше, чем предшествующий потухнет вблизи экватора.

Все это представлено на рис. 75, который дает сводку результатов Шперера от 1855 до 1880 г. Пунктирная линия представляет кривую чисел Вольфа за этот же промежуток времени; вертикальный столбец справа, обозначенный вверху *r*, дает относительные числа Вольфа. Две непрерывные кривые дают солнечную широту двух серий пятен, появившихся в эти годы на поверхности Солнца. Шкала широт находится с левой стороны чертежа. Первая серия начинается с 1856 г. и оканчивается в 1868 г.; вторая появляется в 1866 г. и

остается до 1880 г. В продолжение этих лет разниц между северным и южным полушариями Солнца был очень мала».

В сводке результатов солнечных наблюдений, произ веденных в Гриниче с 1874 по 1902 г., астроном Крист (Christie) приводит данные, показывающие превалирую щие широты, на которых пятна появляются в различ ных частях цикла. Максимальные широты, на которы

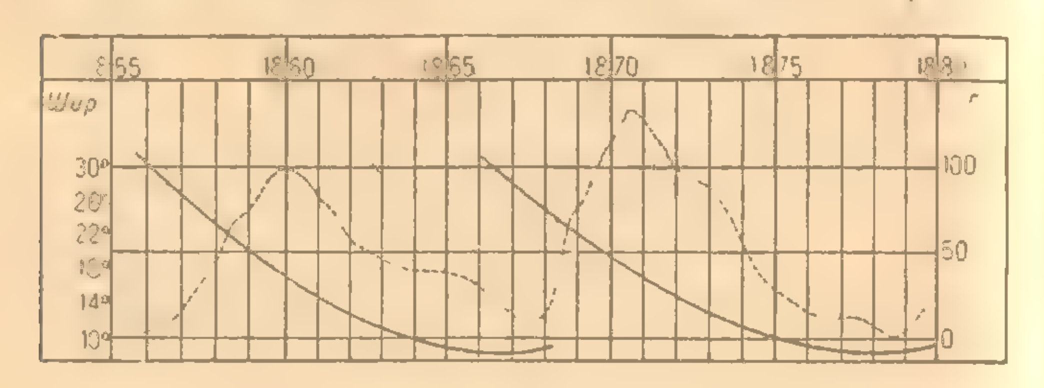


Рис. 75. Кривые Шпёрера широты солнечных пятен.

появлялись солнечные пятна, достигают 42 , но выше 33 пятна можно рассматривать как явление спорадическое. Перед временем минимума солнечных пятен наиболее часты были появления пятен в низких широтах и, когда пятна вновь появлялись после минимума, они были обычно в высоких широтах. Экваториальный пояс между 5 и —5 никогда не был центром активности пятен. Эти факты указаны в нижеследующей таблице, составленной на основании упомянутых данных:

Годы	1800+	80	82	84	86	91	93	95	97
Центры пятнообразования	N	21°	16°	11°	9°	21°	15°	12°	8°
	S	19°	18°	11°	10°	20°	15°	12°	7°
Числа Вольфа	r	32	58	63	25	38	84	62	28

Для протуберанцев, напротив, как показали Рикко и Локайер и как это подтверждено Маскари (Mascari), зоны наибольшей частоты с развитием цикла солнечных пятен переносятся из низких широт в высшие.

Образование солнечных пятен и история их жизни

Рассматривая образование и жизнь солнечных пятен Юнг описывает явление следующими словами:

«В процессе образования пятна нет закономерности. Иногда этот процесс идет постепенно, требуя несколько дней или даже недель для полного развития пятна, а иногда достаточно одного дня. По большей части за некоторое время до появления пятна происходит явное возмущение солнечной поверхности, дающее о себе знать присутствием многочисленных и ярких факелов *, среди которых разбросаны «поры», или мелкие черные точки. Последние расширяются и между ними появляются сероватые дорожки, вызванные, повидимому, лежащими ниже темными массами, закрытыми тонким слоем светящихся волокон. Покров постепенно становится тоньше и исчезает, давая нам, наконец, настоящее пятно с его развитой полутенью. Некоторые из пор сливаются с главным пятном, одни исчезают, а другие составляют сопровождающие пятно цепочки. Как только пятно вполне образовалось, оно принимает обычно приблизительно круглую форму и остается без резких изменений до своего разложения. Если приближается конец существования пятна, то кажется, что окружающая фотосфера надвигается сверху, покрывает и поглощает полутень. Светлые мосты, часто во много раз ярче средней солнечной поверхности, перекидываются поперек тени, расположение волокон полутени начинает спутываться и, по выражению Секки, светящаяся материя фотосферы вихрем низвергается в бездну; бездна скрывается и оставляет лишь возмущенную поверхность, отмеченную присутствием факелов, которые в свою очередь со временем угасают. Однако, как указывалось выше, возмущение нередко

* Это взгляд Секки. Локайер же придерживается того мнения, что пятна появляются раньше факелов.

возобновляется в той же самой точке спустя несколько дней, и молодое пятно появляется как раз там, где было поглощено старое.

Пятна обыкновенно появляются не в одиночку, но группами. По крайней мере изолированные пятна достаточной величины менее обычны, чем группы. Очень часто большое пятно сопровождается с восточной стороны цепью маленьких; в этом случае последние имеют склонность быть весьма несовершенной структуры, иногда совершенно отсутствует тень, часто полутень имеется только с одной стороны и обычно неправильной формы. Можно также отметить, что в тех случаях, когда главное пятно группы обнаруживает значительные изменения формы или структуры, оно устремляется вперед (к западу) вдоль поверхности Солнца, оставляя позади своих спутников. Когда большое пятно делится на две и более части, что обычно и происходит, то видно, как эти части друг друга отталкивают и разлетаются врозь с большой скоростью — с большой, если ее выразить в километрах в час, хотя, конечно, наблюдателю в телескоп движение кажется очень медленным, потому что непосредственно могут быть замечены на солнечной поверхности только перемещения, превышающие 300 *км/час* и то при очень сильном увеличении. Скорости 400—500 *км/час* обычны, скорости в 1500 *км/час* и даже более не представляют исключениями.

Средняя продолжительность жизни солнечного пятна может быть определена в два-три месяца. Самое долговечное пятно, зарегистрированное до сих пор, наблюдалось в 1840 и 1841 гг.; оно просуществовало в течение восемнадцати месяцев. Бывают, однако, случаи, когда за исчезновением пятна очень скоро следует появление другого в той же самой точке, а иногда такая смена исчезновения и появления повторяется несколько раз. В то время как некоторые пятна живут долго, жизнь других продолжается только день или два, а иногда лишь немногие часы».

Кэррингтон, Секки, Перри, Маундер (Maunder) и Сидгрэвс все отмечают тенденцию пятен повторяться на тех же самых местах, но не в том смысле, чтобы указы-

вать на постоянство специальных очагов извержения, как в случае земных вулканов. Дальше Сидгрэвс говорит: «Имеются указания на большую устойчивость состояния центров возмущения, чем это измеряется продолжительностью жизни одного пятна; поэтому нет ничего невероятного в том, что повторная вспышка исходит от того же источника, как и ей предшествовавшая. И если это так, то пятна должны быть более подвержены перемещениям, чем нижележащий их очаг; почти всегда возобновляющееся пятно находится позади места первоначального пятна».

Согласно спектрогелиографическим исследованиям Фокса «пятно рождается всегда сопровождаемое и вообще предвещаемое извержениями» (т. е. эруптивными протуберанцами). «В ранние часы жизни пятна извержения могут итти впереди него в направлении вращения Солнца. Редко наблюдается, чтобы извержение шло впереди вполне развитого, одинокого пятна, но если извержение имеется, то оно следует за пятном у края полутени, может быть, частично ее покрывая. Если пятно растет активно, извержения почти несомненно будут находиться у его заднего края. Извержения сопровождают пятна при быстром их разрушении, будучи часто видны на концах мостов. Спектрогелиограммы, полученные на инструменте Румфорда, я думаю, вполне убедительно показывают, что пятно имеет своим началом извержение. Явление развития пятна, следующее за появлением извержения, настолько обще, что на основании появления изолированного извержения можно безошибочно предсказать пришествие пятна. Когда пятно хорошо развилось, оно возбуждает новые извержения». «Извержения», упомянутые Фоксом, наблюдались, конечно, с помощью спектрогелиографа где-нибудь на солнечном диске, но только у самого края они были опознаны им как действительное «основание эруптивных протуберанцев».

Уровень солнечных пятен

Уровень солнечных пятен — это вопрос, который дискуссировался больше века, и часто с большим ожесточением. В 1769 г. А. Вильсон (A. Wilson) в Глазгоу

защищал ту точку зрения, что солнечные пятна представляют собой понижения солнечной поверхности. Он наблюдал, что, когда пятно только появляется из-за восточного края Солнца, полутень хорошо видна на стороне, ближайшей к краю Солнца, и почти не видна на стороне, которая ближе к центру Солнца, тогда как ядро едва видно, как если бы оно было спрятано за обрывом.

Когда пятно приближается к центру, то сторона полутени, идущая впереди, и сторона задняя, по Вильсону, сравниваются, а ядро покрывает все возрастающую долю общего протяжения пятна. После прохождения через центр пятно естественно испытывает противоположную последовательность перемен. Эта последовательность изменений внешнего вида окончательно доказывала бы, что пятна представляют собой углубления, если бы она считалась неизменно реальной. Многие пятна настолько несимметричны, даже в центре Солнца, что являются неблагодарными объектами для проверки взгляда Вильсона. Многие пятна меняют свою форму при прохождении по солнечному диску, независимо от изменений, зависящих от шарообразной формы Солнца. В самые последние годы несколько весьма ревностных наблюдателей опубликовали выводы, основанные на очень большом числе наблюдений; при обсуждении пятен, появившихся в одни и те же годы, оказалось также много наблюдателей, которые отрицают взгляды Вильсона, как и тех, которые их поддерживают. Представляется поэтому наиболее правдоподобным, что уровень явлений солнечных пятен, видимый при обычном наблюдении, отличается очень мало от уровня окружающей блестящей поверхности Солнца.

Типичное солнечное пятно по Ланглэю

Благодаря нагреванию солнечными лучами поверхности Земли возникающие теплые потоки воздуха портят «видимость»; поэтому наблюдатель, при изучении мелких особенностей на Солнце, находится в неблагоприятных условиях по сравнению с теми, которые

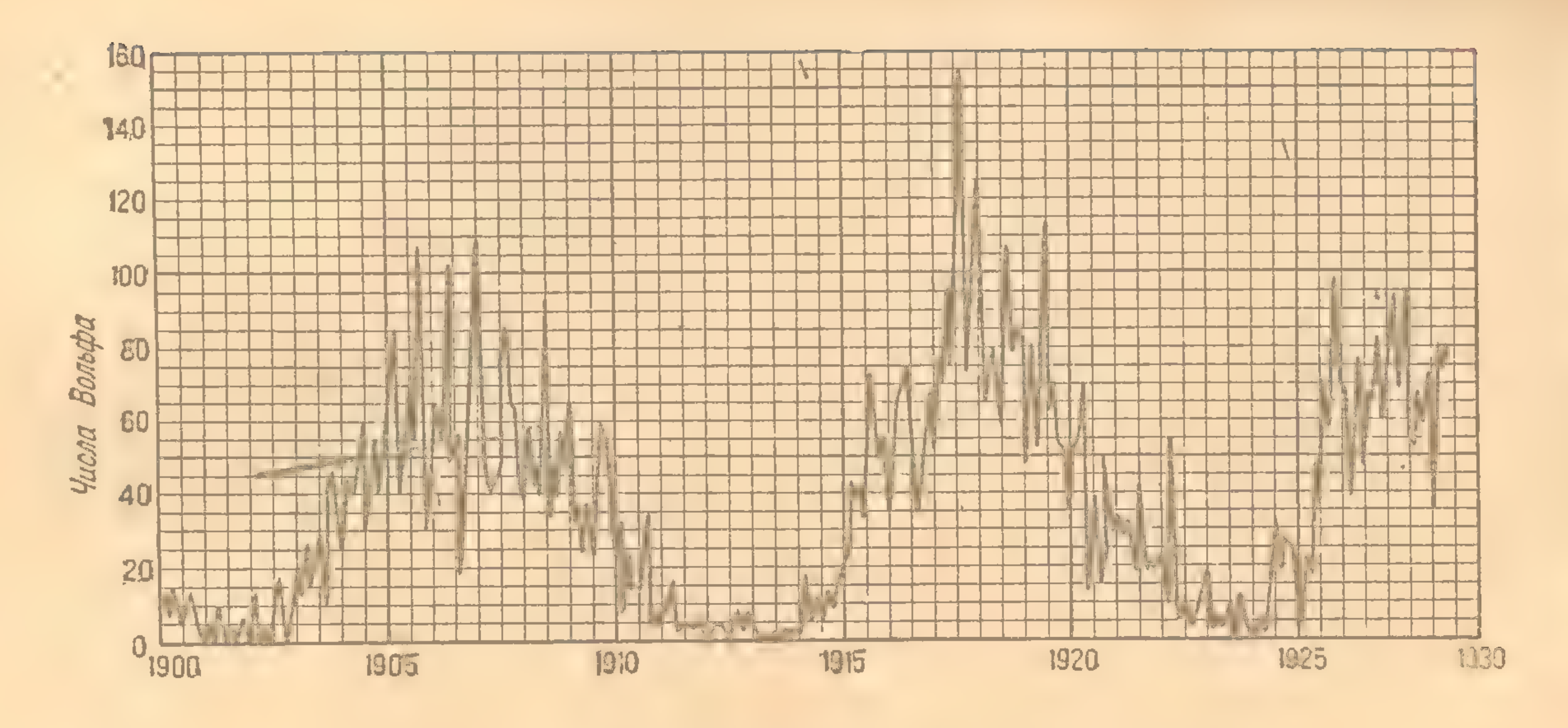


Рис. 76. Кривая активности по солнечным пятнам.

имеют место при изучении Луны или других ночных светил. Наблюдатель Солнца сталкивается с помехой наблюдениям, причиняемой неправильным распределением плотностей в земной атмосфере. Как правило, он ловит лишь сравнительно редкие, отдельные моменты, когда может быть получено действительно удовлетворительное изображение солнечной поверхности. С необыкновенным талантом, комбинируя впечатления, получаемые в отдельные моменты лучшей «видимости», которые выпадали в течение нескольких лет постоянных наблюдений, ныне покойный Ланглэй сделал в 1873 г. свой знаменитый рисунок «типичного пятна».

Факелы

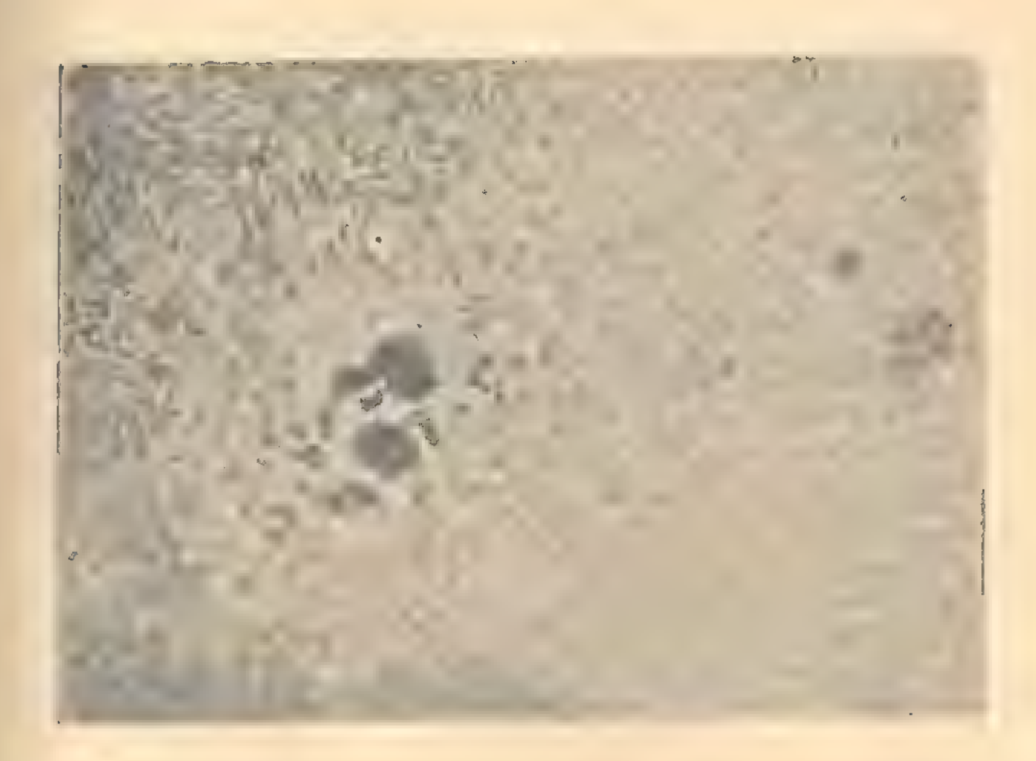
После солнечных пятен наиболее выдающимися особенностями на Солнце, тесно связанными с историей жизни пятна, являются факелы, или яркие пятна, которые обильнее всего видны у краев солнечного диска. По внешнему виду Юнг сравнивает их с пятнами пены, испещряющими воду у подножья водопада. Факелы значительно преобладают вблизи пятен, но, в противоположность им, всегда наблюдаются на всей поверхности Солнца, хотя вблизи полюсов их меньше. Их трудно видеть у центра солнечного диска. Как было установлено в гл. III, блеск солнечной поверхности не одинаков на протяжении всего диска Солнца, он очень сильно падает к краям. С другой стороны, факелы, грубо говоря, можно рассматривать как имеющие одинаковую яркость во всех частях солнечного диска, а потому они выступают более отчетливо у краев, где общий фон менее ярок. Количество факелов имеет максимумы и минимумы, совпадающие с таковыми для солнечных пятен.

Грануляция

Кроме пятен и факелов при хороших условиях видимости заметен общий зернистый вид всей солнечной поверхности (грануляция). Много лет назад происходили большие споры о точной форме гранул; некоторые наблюдатели сравнивали их с рисовыми зер-



6ч 47м



7ч 37м

Рис. 77. Фотографии части солнечной поверхности (Жансен).

Медон, 1 июня 1878 г.; промежуток 50 мин.

нами, другие — с ивовыми листьями, а иные — с кусочками соломы. Эти пятна различной яркости в действительности занимают громадные площади от 25 000 до 120 000 $км^2$, и, вероятно, они отнюдь не правильной формы, так что дискуссия об их форме не имела под собой твердой почвы. На рисунке солнечного пятна, выполненном Ланглеем, гранулы изображены в большом числе, различной формы так, как они часто представляются наблюдателю. Рис. 77 представляет собой репродукцию двух знаменитых фотографий гранул, полученных Жансеном *.

Спектр солнечных пятен

Спектр солнечных пятен отличается от спектра фотосферы в нескольких существенных отношениях. Энергия спектра пятен значительно слабее в фиолетовом конце спектра. Это было обнаружено с помощью болометра и другими фотометрическими методами путем параллельного сравнения интенсивностей спектра солнечных пятен и спектра фотосферы вблизи центра солнечного диска. Данные об ультрафиолетовой части спектра взяты из работ Шварцшильда и Виллигера, а остальные — из работ смитсонианских наблюдателей.

Длины волн в μ	0,320	0,448	0,586	0,799	1,218	2,115
Отношение яркостей тень пятна / фотосфера . .	0,12	0,377	0,424	0,535	0,610	0,7[illegible]

* В 1905 г. Ганский в Пулкове, а затем Шевалье на обсерватории Цо-зе в Китае изучали грануляцию фотографически. Оказалось, что гранулы представляются в среднем круглыми облачками в солнечной атмосфере, причем их поперечник может быть оценен в 300 *км* приблизительно. Площадь, занятая грануляцией, составляет приблизительно треть всей поверхности Солнца. Гранулы находятся в постоянном движении, причем средняя его скорость составляет около 4 *км/сек*. Продолжительность жизни отдельных гранул весьма невелика: не свыше нескольких минут. — *Перев. ред.*

Так как различные пятна неодинаковы по черноте своих центров, то нельзя слишком сильно доверять скачку относительных яркостей между $\lambda = 0{,}320\ \mu$ и $\lambda = 0{,}448\ \mu$. Остальные данные, однако, все относятся к одному и тому же пятну, наблюденному одним и тем же наблюдателем, и потому должны быть между собой сравнимы. Существуют три пути к объяснению постепенного относительного ослабления коротких лучей у солнечных пятен. Может быть температура солнечных пятен значительно ниже температуры фотосферы, может быть над пятнами больше количества поглощенного и рассеянного света, или, наконец, явление может быть обязано действию обеих этих причин вместе. Позднее стало практически ясным, что действует по крайней мере первая из упомянутых причин. Это доказано вышеупомянутыми работами по спектру солнечных пятен *.

Некоторые наблюдатели нашли, что контраст между яркостями солнечного пятна и фотосферы уменьшается по направлению к краю. Ланглэй и также Фрост нашли указания на то, что на самом краю диска полная радиация тени солнечного пятна в действительности сильнее, чем радиация фотосферы. По наблюдениям В. Е. Вильсона (W. E. Wilson) отношение яркости ядра пятна к яркости фотосферы у центра диска Солнца не меняется с расстоянием от него до девяносто пяти сотых солнечного радиуса, в то время как отношение яркости ядра к яркости прилегающих областей возрастает от 0,40 до 0,75. Он не мог подтвердить результатов Фроста и Ланглэя. Шварцшильд и Виллигер, производя наблюдение в ультрафиолетовых лучах с длиной волны $0{,}32\ \mu$, нашли отношение яркостей солнечного пятна и окружающей фотосферы от 0,10 до 0,14 в центре и от 0,30 до 0,50 у самого края. Уже упоминалось, что фотосфера на краю

---

* Несколько лет назад американские астрономы Петтит и Никольсон определили температуру ядра солнечных пятен путем изучения распределения энергии в их спектре. Оказалось, что ядра пятен обладают температурой 4 800°. Этим же способом было найдено, что температура факелов приблизительно на 200° выше температуры фотосферы. — *Прим. ред.*

диска Солнца менее ярка, чем в его центре, и точная величина изменения была дана для различных длин волн в гл. III. Отсюда легко видеть, что если, как указывают наблюдения В. Е. Вильсона (W. E. Wilson), ядро пятна остается почти неизменным по своей действительной яркости, где бы на Солнце оно ни наблюдалось, упомянутое изменение контраста является неизбежным следствием. Трудно, однако, согласиться с тем, что ядро пятна, на краю диска, в действительности могло превосходить излучение окружающей фотосферы, как это следует из наблюдений Фроста и Ланглэя; в этом направлении нужно произвести дальнейшие исследования *.

В спектре солнечных пятен многие фраунгоферовы линии усилены, а другие ослаблены по сравнению с теми же самыми линиями в спектре фотосферы **. Заимствую следующие данные из соответствующей сводки Адамса. По таблице Роуланда кальций дает 60 линий в промежутке между $\lambda = 0{,}40\mu$ и $\lambda = 0{,}70\mu$ и все, за одним исключением, усилены в солнечных пятнах. Усиление возрастает абсолютно, а также и относительно с возрастанием длины волны. У железа в этом же интервале таблицы Роуланда имеется 1 108 линий, из которых 784 подвержены изменению в пятнах. Из этих линий 558 обязаны происхождением одному

---

* Новые голландские и американские фотометрические исследования показывают, что отношение яркости ядра пятна к яркости окружающей его фотосферы остается постоянным при различных положениях пятна на диске Солнца. Наблюдавшееся иногда уменьшение этого отношения около края Солнца объясняется влиянием замывания пятна вследствие плохих изображений, которое будет особенно сказываться на небольших пятнах и на пятнах, наблюдающихся близ края Солнца, когда вследствие перспективных искажений они имеют вид сильно вытянутого овала. — *Прим. ред.*

** О линии поглощения говорят, что она усиливается, когда она представляет больший контраст с прилегающим фоном, или потому, что сделалась шире, не став менее темной, или потому, что она сделалась темней, или от обоих изменений вместе. Ослабление спектральных линий подразумевает противоположное изменение. И в том и в другом случаях термин относителен и может в действительности предполагать перемену прилегающего фона спектра без изменения самих линий таким образом, что контраст с линиями меняется.

Таблица 12

Спектр водорода в солнечном пятне

Линии	Длины волн в Å	Интенсивности	
		фотосфера	пятно
Hδ	4101,848	40 N	1
Hγ	4340,471	20 N	4
Hβ	4861,350	30	10
Hα	6562,835	40	25

Таблица 13

Спектральные линии, подверженные изменениям в солнечных пятнах

Элементы	Общее число линий	Число усиленных линий		Число ослабленных линий		Процент от общего числа		
		одного элемента	группы линий и перекрывающихся линий	одного элемента	группы линий или перекрывающихся линий	усиленных	ослабленных	измененных
Кальций . . .	60	43	16	—	—	98	—	98
Хром	386	200	75	36	31	71	17	88
Кобальт . . .	118	26	25	17	14	43	26	69
Водород . .	4	—	—	4	—	—	100	100
Железо . . .	1 1[illegible]8	300	127	25[illegible]	[illegible]	39	32	71
Магний . .	8	3	—	1	—	38	12	50
Марганец . .	167	68	31	15	9	59	14	73
Никель . . .	251	48	24	106	26	29	53	82
Скандий . .	45	30	—	3	—	67	7	74
Кремний .	9	—	—	8	1	—	100	100
Иттрий . . .	8	8	—	—	—	100	—	100
Титан	432	247	73	46	28	74	17	91
Ванадий . .	176	114	37	9	5	86	8	94

железу; другие же линии представляют собой перекрытие линий железа и линий других элементов. Из 558 подверженных изменению чисто железных линий 300 усиливаются и 258 ослабевают в солнечных пятнах. В рассматриваемой области имеются 4 линии водорода и все они ослабевают. Этот случай так поразителен что достоин быть приведенным полностью (см. табл. 12 на стр. 205).

Таблица 13 (стр. 205), заимствуемая из статьи Адамса, иллюстрирует поведение линий в пятнах для 13 различных элементов.

Относительно низкая температура солнечных пятен

Если слой, который создает фраунгоферовы линии над пятнами, был бы той же температуры, как и над фотосферой, то линии пятна имели бы тенденцию казаться слабее; потому что, хотя испускание линий тогда в действительности осталось бы неизменным, однако спектральный фон, на котором они видны, ослабел бы и приблизился к яркости линий, как видно из второго примечания на стр. 204. Так как уменьшение яркости фона в спектре солнечных пятен сильнее для коротких волн, то линии в фиолетовой части должны быть в рассматриваемом нами случае ослаблены сильнее. Так это и есть в действительности в случае линий водорода и, повидимому, может быть объяснено как следствие большой высоты слоя. Но факт, что большинство линий в солнечных пятнах усиливается, сам по себе, можно рассматривать как свидетельство, что для большинства элементов «обращающий слой» над пятнами холоднее, чем над фотосферой. Кроме этих общих соображений, есть еще несколько других, о которых нужно теперь уж упомянуть, и которые приводят к тем же самым заключениям.

Линии, которые относительно сильнее в электрической искре, чем в дуге, когда они получаются, как яркие линии в лаборатории, называются «подчеркнутыми линиями» (enhanced lines). Из 144 подчеркнутых линий, наблюдаемых в солнечных пятнах, говорит Адамс, «130 заметно ослаблены, усиленных нет, хотя

у 16 нет заметных изменений». Это почти всеобщее ослабление подчеркнутых линий в солнечных пятнах, как будет показано ниже, должно свидетельствовать о низкой температуре обращающего слоя солнечных пятен *. По закону Кирхгофа (см. гл. II) испускание и поглощение между собою пропорциональны. Отсюда следует, что если для усиления некоторой линии излучения требуются условия искры, то эти же условия потребуются для того, чтобы заставить действующий газ сильнее поглощать в этой линии. Но условия искры по сравнению с условиями дуги нужно рассматривать, как высокую температуру по сравнению с низкой температурой — взгляд, полностью подтвержденный опытами Хэла (Hale), Адамса и Гэла (Gale) с сильной и слабой дугами и опытами Кинга (King) с электрической печью высокой и низкой температур. В согласии с этим стоит ослабление подчеркнутых линий в спектре солнечных пятен, а вместе с этим преобладание в пятне усиленных линий объясняется допущением того, что пары пятна слишком холодны для того, чтобы для подчеркнутых линий произвести сильное поглощение.

Третье соображение, показывающее, что обращающий слой холодней над солнечными пятнами, доставляет детальное сравнение спектров солнечных пятен и фотосферы, с одной стороны, и спектров высокой и низкой температур дуги или электрической печи — с другой стороны. Такие сравнения были начаты Хэ-

---

* Современные астрофизические методы позволяют определить температуру солнечных пятен, исходя из относительной интенсивности разных фраунгоферовых линий спектра пятен. В 1931 г. американская ученая Мур нашла этим способом для температуры ядра солнечных пятен значение в 4 700°, а для давления газа солнечной атмосферы над ядром пятна — 0,6 значения давления для поверхности Солнца. Эти методы определения температуры и относительного давления основаны на теории индусского физика Саха. Этот ученый в 1920 г. вывел уравнения состояния атомов, приложив к ним те уравнения термодинамики, которые употребляются для химических реакций. Уравнение Саха связывает процентное отношение числа ионизованных атомов какого-либо химического элемента к числу неионизованных атомов того же элемента, давление газа, температуру и атомные постоянные (потенциалы ионизации). — *Прим. ред.*

лом, Адамсом и Гэлом и продолжены Кингом. Адамс составил большую таблицу результатов таких сравнений для линий железа. Несколько, наиболее резко выраженных, случаев типичных усилений, ослаблений и нейтральности приведены в табл. 14.

Таблица 14

Спектр солнечных пятен и спектр горячей и холодной дуг

Длины волн в Å (по Роуланду)	Интенсивности				Отношения для пятна	Отношения для дуги	Расхождение
	Солнце	пятно	горячая дуга	холодная дуга			
4118,708	5	4	16	12	1,2	1,3	— 0,1
4291,630	2	3	8	16	0,7	0,5	+ 0,2
4325,939	8	7	48	40	1,1	1,2	— 0,1
4461,818	4	7	19	40	0,6	0,5	+ 0,1
4531,327	5	7	16	24	0,7	0,7	+ 0,0
4939,868	3	5	10	18	0,6	0,6	0,0
5083,518	4	6	12	22	0,7	0,5	+ 0,2
5202,516	4	4	14	16	1,0	0,9	+ 0,1
5333,089	4	7	7	16	0,6	0,4	+ 0,2
5405,989	6	10	40	80	0,6	0,5	+ 0,1
6024,281	7	7	13	13	1,0	1,0	0,0

Вообще в пределах ошибок измерения линии, которые усиливаются в холодной дуге, усилены и в солнечных пятнах; линии, которые ослабляются в холодной дуге, ослаблены и в солнечных пятнах; те линии, которые неизменны в одном случае, неизменны и в другом, и все в сходных отношениях. Из этого следует, на тех же основаниях, какие только что даны для подчеркнутых линий, что обращающий слой над солнечными пятнами относительно холоднее, чем над фотосферой.

Четвертое явление, с определенностью приводящее к тому же самому заключению, — это бросающееся в глаза присутствие в спектре солнечных пятен серий или молекулярных полос, чрезвычайно многочисленных и характерных для спектров окиси титана, гидрата магния и гидрата кальция. Отождествление этих

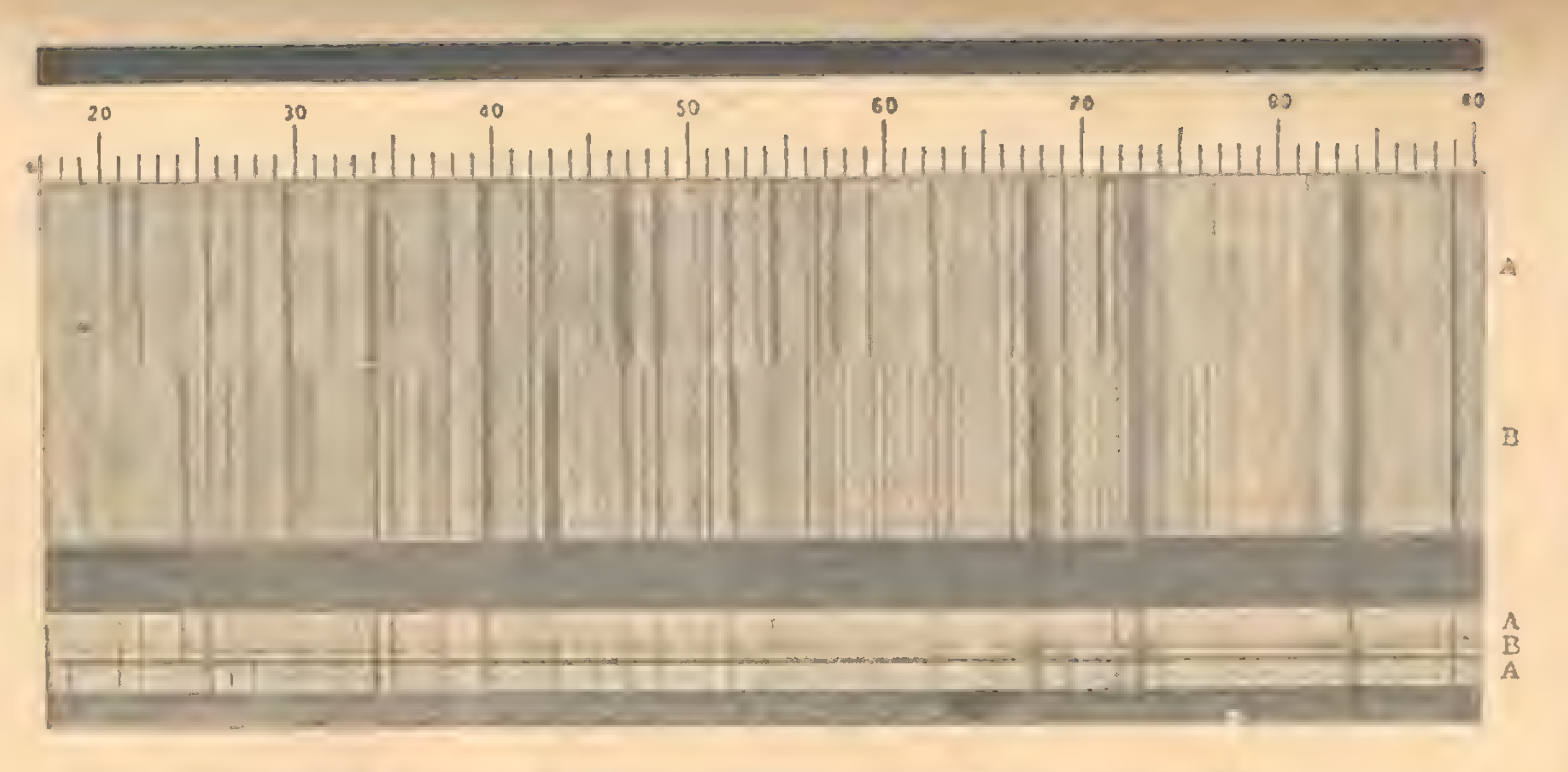


Рис. 78. Спектры фотосферы и солнечного пятна (Солнечная обсерватория на горе Вильсона.)

А — спектр фотосферы, В — спектр пятна.

серий было произведено соответственно Хэлом, Адамсом, Гэлом, Фоулером и Олмстэдом. Эти и другие молекулярные соединения дают, как указал Эвершед, очень слабые и не всегда ощутимые следы их присутствия в спектре фотосферы. Хорошо известно, что высокие температуры стремятся произвести полную диссоциацию молекулярных соединений. Факт обилия в спектре солнечных пятен линий химических соединений является совершенно надежным свидетельством относительно низкой температуры обращающего слоя над пятнами даже без подтверждения другими, приведенными выше признаками, и без многих других незначительных явлений, упоминать о которых здесь не позволяет недостаток места *.

Согласно Корти (Cortie) в солнечных пятнах встречается также водяной пар, потому что он нашел, что среди других линий линии водяного пара расширяются в спектре солнечных пятен. Он поставил также опыты которые показали, что спектр гидрата магния не мог быть виден в солнечных пятнах, если бы там не присутствовали также и водяные пары. Эвершед, однако, из наблюдений, произведенных на высокой и сухой станции в Кодайканале, делает заключение, что: «В целом нужно признать, что следы расширения теллурических линий, какого бы происхождения они ни были, в спектре пятна практически ничтожны».

Превосходная фотографическая карта спектра солнечного пятна, сопоставленная со спектром фотосферы, была изготовлена на Солнечной обсерватории на горе Вильсона и разослана наблюдателям Солнца. На рис. 78 воспроизведена часть этой карты, заключающей группу фраунгоферовых линий *b*. Хотя никакое типографское воспроизведение не может дать полного отображения оригинала, все же читатель будет в состоянии распознать многие из вышеуказанных особенностей.

---

* Изучение распределения интенсивности между линиями, составляющими молекулярную полосу в спектре какого-либо химического соединения, позволяет определить его температуру. Таким образом американский ученый Ричардсон определил температуру ядра солнечных пятен в 4 700° — *Прим. ред.*

Солнечные пятна и магнетизм

В 1908 г. Хэл открыл существование магнитного поля в пятнах, которое выдает свое присутствие расширением, раздвоением и утроением большого числа спектральных линий. Около 1896 г. Зееман, как изложено в гл. II, открыл, что спектральные линии разделяются на два компонента, если на них смотреть вдоль линий сил мощного магнитного поля, и что эти два компонента поляризованы по кругу в противоположных направлениях. Чем меньше напряжение поля, тем менее заметно раздвоение линий, они только расширяются, но их правый и левый края и в этом случае обнаруживают следы противоположной поляризации по кругу. Хэл применил это испытание к наиболее расширенным линиям солнечных пятен путем применения призмы Френеля для превращения круговой поляризации в плоскую и нашел, что правый или левый край линии может быть по желанию погашен, соответственно положению призмы Николя, употребляемой для анализа характера поляризации света. Некоторые линии в солнечных пятнах тройные, но это кажущееся противоречие является наилучшим доказательством существования влияния магнитного поля. Последние линии были исследованы в лаборатории, причем оказалось, что они также становились тройными, вместо того, чтобы стать двойными, когда наблюдения велись вдоль линии магнитных сил. Блестящее открытие Хэла пролило свет на один из наиболее загадочных вопросов относительно спектра солнечных пятен.

При изучении поляризации Хэл нашел, что поле солнечных пятен не всегда обладает одной и той же полярностью. Очень часто пара солнечных пятен, расположенных совсем близко одно к другому, оказывается противоположных полярностей. Вообще полярность пятен южного полушария Солнца противоположна полярности в северном полушарии, но из этого правила есть очень много исключений, в том числе, конечно, для двойных пятен, как только что упоминалось. Пятна вблизи солнечного края имеют магнитные

силовые линии, направленные почти перпендикулярно лучу зрения, и поэтому они имеют стремление давать утроенные спектральные линии, в то время как пятна близ центра диска дают дублеты, т. е. удвоенные линии.

Причина магнитного поля в солнечных пятнах является одной из интереснейших проблем. Много лет назад Роуланд показал, что электростатический заряд при вращении производит электромагнитный эффект, подобный эффекту, производимому электрическим током в проволочной спирали. Это, очевидно, указывает путь к решению вопроса, потому что, как установлено в сводке спектрогелиографических результатов в гл. III, если на Солнце смотреть через линию водорода $H\alpha$ (C), то видны искривленные образования (см. рис. 39), которые, очевидно, указывают на движения по спиралям в окрестностях солнечных пятен. На такой фотографии в линии $H\alpha$ двойного пятна, имеющего магнетизм противоположных полярностей, кажется, что кривые, которые окружают пятна, представляют по внешнему виду некоторое сходство с кривыми, по которым располагаются железные опилки на листе бумаги под действием пары противоположных магнитных полюсов. Представляется вероятным, что в солнечных пятнах имеют место быстрые вращательные движения, или вихри, увлекающие электрически заряженные частички, которые и производят наблюдаемые магнитные поля *.

В главе VI будет указано, что под влиянием огромных температур, господствующих на Солнце, не только молекулы разлагаются на атомы, но также и атомы в значительной мере разбиты на свободные электроны и центральные ядра. Последние составлены из многих положительных и отрицательных электронов, прочно связанных вместе и имеющих некоторый перевес положительных электронов. Имеется очень большое неравенство масс между массой свободных

---

* Новые наблюдения Хэла и Абетти показали, что между направлением водородных вихрей и знаком магнитного поля связи нет. — *Прим. ред*

отрицательных электронов и комплексов положительно ионизированного ядра, доходящего от 2 000 до 500 000 раз. Поэтому очевидно, что в крутящемся вихре центробежная сила создает стремление обоих электричеств разделиться. Отсюда может получиться преобладание магнитного эффекта, создаваемого вращением одной из этих двух наэлектризованных составных частей атома, вследствие наиболее выгодного ее расположения.

Радиальные движения в полутени пятен

Эвершед отчетливо наблюдал сдвиг спектральных линий тени пятна, расположенного на значительном расстоянии от центра солнечного диска. Это, повидимому, указывает на существование в центре пятен движения почти радиального, происходящего так, как будто бы вещество, поднимающееся до солнечной поверхности в центрах солнечных пятен, разбрасывалось во все стороны, совершенно подобно дыму из вулкана Тем не менее не было получено * спектроскопического доказательства движения в пятнах по радиусу от центра Солнца. Адамс пытался найти указания на увеличение или уменьшение давления в обращающем слое над солнечными пятнами по сдвигу тех линий, которые известны как сильно подверженные сдвигу, если их источник находится под давлением; но обнаружить признаков измененного давления ему не удалось. Смысл этого будет разъяснен в гл. VI.

---

* После опубликования этой работы Сент-Джон наблюдал высокие легкие газы, двигающиеся в пятнах вниз.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЧТО ТАКОЕ СОЛНЦЕ?

Общие соображения. — Взгляды Джинса. — Структура атома. Взгляды Эддингтона. — Различные явления.

Как мы уже видели, Солнце представляет собою шар диаметром в 1 390 000 *км*, превосходящий по массе в 332 800 раз Землю, а по плотности в 1,41 раз воду, находящийся на расстоянии в 149 500 000 *км* от Земли. Поверхность Солнца не имеет неизменных отличительный деталей, подобных тем, которые видны в телескоп на Луне или на Марсе, но покрыта множеством быстро исчезающих пятен, которые кажутся незначительными до тех пор, пока мы не вспомним, что масштаб всех предметов, находящихся на Солнце, настолько велик, что многие из этих небольших светлых или темных пятен на самом деле по своим размерам не уступают площади европейских государств Кроме этих незначительных отметин на Солнце время от времени появляются темные пятна, которые представляют собою вихри в верхних слоях Солнца. Эти пятна магнитного характера, так что, когда их число уменьшается или увеличивается с периодом приблизительно в 11 лет, что отражается также на магнитных и электрических явлениях Земли.

Общие соображения

Мы уже говорили, что Солнце испускает обильный поток радиации с длинами волн, начинающимися много раньше фиолетовых лучей и кончающимися далеко за красными лучами видимого спектра. Сравнив распределение энергии для разных длин волн в широких пределах этого спектра, мы обнаружим сходство со спектральным распределением энергии идеального радиатора при абсолютной температуре в 6 000 .

Когда мы получаем спектр солнечных лучей при хороших условиях, множество темных линий пересекает его; это доказывает присутствие на Солнце большинства химических элементов, известных на Земле. Не имеется определенных данных о наличии на Солнце каких-либо неизвестных химических элементов, но Джинс, как об этом будет сказано ниже, считает, что в центре Солнца находятся элементы с более высоким атомным весом, чем уран. Мы знаем, что все известные нам химические вещества становятся газообразными при температуре значительно ниже той, которая, повидимому, преобладает даже на доступной глазу солнечной поверхности. Поэтому наше первое впечатление будет таково, что Солнце представляет собою гигантский шар раскаленного добела газа. Это имеет место в отношении внешней части солнечной сферы. Что же касается более глубоких внутренних слоев, то Джинс приводит математические соображения и данные наблюдения в пользу того воззрения, что, несмотря на высокую температуру, может быть превышающую 40 000 000°, возможно, что под колоссальным давлением центральное ядро Солнца находится в жидком состоянии.

Для того чтобы лучше понять это, необходимо вспомнить современные открытия, касающиеся структуры материи. Как принималось в XIX в., всякое вещество, независимо от того, твердое ли оно, жидкое или газообразное, состоит из молекул, представляющих собою самые мельчайшие подразделения, которые можно получить, не изменяя химических свойств вещества. Таким образом кусок льда, вода в чашке, пар в цилиндре — все состоят из молекул воды. Если мы будем подразделять каждую из них, то это уже будет не вода, а атомы кислорода и водорода. Одна молекула воды состоит из атома кислорода и двух атомов водорода.

В твердых и жидких телах молекулы лежат очень близко одна к другой, мешая свободе движения и сильно сопротивляясь более близкому соприкосновению их при сдавливании. Однако в газах молекулы обычно отделены большими расстояниями сравни-

тельно с их диаметром и движутся, сталкиваясь и отталкиваясь во всех направлениях. Давление газа на стенки происходит вследствие ударов о них молекул. Количество молекул огромно. В кубическом сантиметре воздуха на уровне моря при нормальных условиях имеется $2{,}70 \cdot 10^{19}$ (270 с 17 нулями) молекул. Кубический сантиметр жидкости содержит, конечно, молекул во много раз больше.

Под «температурой» тела мы понимаем быстроту внутреннего движения его молекул. Наше ощущение производится ударами этих отдельных микроскопических снарядов о чувствительную поверхность нашего тела. Объем газа при постоянной температуре уменьшается прямо пропорционально увеличению давления, а произведение давления на объем — прямо пропорционально температуре, измеряемой от абсолютного нуля. Математически это выражается так: $pv = RT$, где R — постоянная.

Все это было хорошо известно до 1900 г. Но около этого времени открыли, что атомы, составляющие молекулы, не являются последними подразделениями вещества. Они сами имеют более или менее сложное строение, состоя из компонентов двух родов. Это единицы электрического заряда, положительные и отрицательные в равном числе, называемые соответственно протонами и электронами. В атоме водорода имеется один протон и один электрон, а в других химических элементах их число увеличивается с увеличением атомного веса; но как бы они ни были многочисленны, в полных атомах сохраняется равенство зарядов, распределенных между протонами и электронами.

Радиус сферы, занимаемой полной молекулой водорода, принимается равным приблизительно 10^{-8} *см*, а радиус отрицательного электрона — только около $2{,}10^{-13}$ *см*. Радиус положительного протона, повидимому, в 2 000 меньше, т. е. равен приблизительно 10^{-16} *см*. При таких размерах очевидно, что в сильно сжатых газах, когда молекулы водорода или другого газа более сложного строения могут быть разложены на атомы, а затем на их составные части — протоны

и электроны, они смогут быть вмещены в гораздо меньший объем, без потери свободы движения. Это подобно разборке складного дома для более компактной перевозки. Если бы атомы могли быть хотя бы отчасти разрушенными в отношении строения своих внешних частей, наиболее далеко простирающихся, то ясно, что было бы возможно более близкое их расположение, без потери присущей газам свободы движения.

Для простейшего из газов — водорода — нет стольких возможностей в этом смысле, как для газов элементов высокого атомного веса, таких, как барий, лантан и уран. Строение этих более тяжелых атомов сложно. В центре находится маленькое ядро, с радиусом всего лишь около 10^{-12} *см*, составленное из всех многочисленных протонов и около половины электронов. Это ядро окружено несколькими сферами действия внешних электронов, расположенными в виде скорлуп. Внешний слой, возможно, в диаметре в 100 000 раз больше, чем ядро.

Эти скорлупы могут быть полностью или неполностью заполнены электронами. Требуется 2, 8, 8, 18, 18 и 32 электронов, соответственно для того, чтобы целиком заполнить шесть последовательных скорлуп, которые могут быть в большом атоме. Когда все скорлупы, для которых имеются электроны, совершенно заполнены, например у гелия, неона, аргона, криптона, ксенона и радона, атомы которых имеют соответственно 2, 8, 8, 18, 18 и 32 свободных электронов, тогда газы химически инертны. У кальция с 20 свободными электронами остаются 2 электрона, после заполнения трех внутренних скорлуп, и поэтому он имеет, как говорится, валентность 2. Это значит, что один из его атомов для образования молекул соединяется с двумя одновалентными атомами, как, например, с хлором. Таким образом $CaCl_2$ является символом, обозначающим хлористый кальций. С другой стороны, у натрия с 11 свободными электронами остается после заполнения двух внутренних скорлуп один электрон и он одновалентен, образуя $NaCl$, т. е. обычную поваренную соль.

Под действием высоких температур или мощных электрических разрядов скорлупы разрушаются, начиная с внешней, и несколько электронов отрывается. Это называется ионизацией, а оставшиеся части структуры атомов являются оголенными атомами. При высоких температурах Солнца и звезд это состояние преобладает.

Между 1920 и 1927 гг. считалось, что Солнце целиком газообразно и что для всех более глубоких внутренних слоев Солнца условия таковы, что почти все атомы полностью ионизированы, т. е. ядра совершенно оголены. Это уменьшает величину всех частиц до таких малых размеров, что наступает почти полная свобода движения, подобная той, которую имеют молекулы разреженного газа при обычных условиях. Действительно, кажется странным думать о массе со средней плотностью в 1,4 раза большей плотности жидкой воды, а в центре, несомненно, значительно еще более плотной, как о сравнимой с идеальным газом. Но таково было мнение между 1920 и 1927 гг. не только относительно Солнца, но даже и относительно белого спутника звезды Сириус, который оказался в 60 000 раз плотнее воды.

Взгляды Джинса

В 1927 г. Джинс (Jeans), секретарь Королевского общества Великобритании, внес изменение в это представление о внутренних условиях Солнца и звезд. Он пришел к заключению, что некоторые аргументы заставляют нас принять идею о наличии жидких ядер внутри газообразных оболочек этих тел. Лучше всего будет изложить его мысль его же собственными словами, приведенными в журнале «Nature» от 4 февраля 1928 г.:

«Больше полвека держался взгляд, что звезды имеют газообразную структуру; это использовано в знаменитой «теории сжатия» Гельмгольца об источнике солнечной энергии подобно тому, как и в пионерских изысканиях Гомера Лэна (Homer Lane). Эмден, исследуя этот вопрос в своей книге «Gaskugeln», едва ли

допускал какую-либо иную возможность, хотя и находил, что центры звезд должны быть слишком плотны для возможности обычного газообразного состояния. Это противоречие исчезло и вопрос в целом по сути дела принял новый вид в свете положении, выдвинутых мною в 1917 г., согласно которым атомы звездных недр находятся в состоянии крайней диссоциации электронов. Как впоследствии указал Эддингтон (Eddington), электроны и атомные ядра обладают столь малыми размерами, что если они, и только они, образуют летающие составные части квази-газа, то в астрономии еще не известно столь высокой плотности, которая была бы несовместима с газообразным состоянием.

За десять лет, которые прошли с тех пор, как я впервые высказал этот взгляд на недра звезд, Эддингтоном, а также и рядом других авторов много труда было положено на исследование строения и свойств звезд на основании гипотезы, что летающие частички слишком малы для того, чтобы заметно мешать друг другу, — словом, в предположении, что поведение звездной материи подобно поведению идеального газа. Так как центральная температура звезд может быть вычислена с некоторой точностью, то кажется простым оценить тот предел, до которого эта температура должна разрушать атомы и отсюда решить вопрос о том, будет ли в таких условиях иметь место подчинение законам газового состояния. Однако это просто лишь в случае, если атомный вес известен, но не иначе; температура в 100 000° разрушит водород полностью, в то время как температура в 100 000 000° будет бессильна сделать то же с ураном. В исследованиях Эддингтона атомный вес обычно принимался равным 40 или 50, и при таком атомном весе атомы должны быть полностью распылены; с другой стороны, при атомном весе в пять раз большем должно уцелеть достаточно атомных структур для того, чтобы они могли стать причиной неподчинения законам газового состояния, хотя наше незнание эффективных размеров высокоионизированных атомов затрудняет оценку степени этого несоответствия.

Гипотеза о подчинении законам газового состояния оказалась несостоятельной; ее следствия отвергают наблюденные факты, вследствие чего гипотезу надлежит отбросить. Эддингтон и я, независимо один от другого, исследовали соотношения, которые должны связывать светимость звезды с ее массой и с диаметром на основе такой гипотезы. И оба нашли, что действительные звезды по существу несоответственно слишком слабы. Или другими словами — если бы законы газового состояния выполнялись в звездных недрах то диаметры звезд должны были бы быть значительно больше, чем они есть на самом деле Мои последние вычисления показали, что расхождения, по всей вероятности, получаются в сотни раз. Эддингтон по другим данным и при других допущениях получил меньший коэфициент. Но даже, принимая все сомнения в пользу гипотезы, никому не удалось полностью устранить противоречия; и в лучшем случае остается разногласие раз в десять.

Недавно я показал, что звезда, которая ведет себя, как газ, должна быть неустойчивой или динамически, или термодинамически, или то и другое вместе. Несколько времени назад Эддингтон и Рёсселл (Russell) нашли, что такая звезда должна быть динамически неустойчива, если только скорость освобождения энергии не возрастает крайне быстро по мере повышения ее температуры; но позднее я показал, что подобный эффект должен сделать звезду неустойчивой термодинамически. Чтобы поддерживать нашу звезду динамически устойчивой, мы должны наделить ее в точности теми же качествами, которые характеризуют взрывчатое вещество в точке его воспламенения Таким образом чисто газовая звезда должна внезапно сжаться динамически, или взорваться термодинамически, или же и то и другое вместе — в зависимости от того, как скорость освобождения энергии зависит от ее температуры; в действительности с звездами не происходит ни того, ни другого.

Наконец, прямое свидетельство против гипотезы газового состояния доставляется двойными звездами, которые по всей видимости образовались путем раз-

рыва одной звезды, вращающейся слишком быстро, чтобы уцелеть. Маховые колеса и вращающиеся массы твердых или жидких тел могут разорваться таким же путем, но я уже показал, что чисто газовая масса разорваться не может, масса газа поддается и расширяется, но разорваться никогда не может.

Недавно я показал, что всех этих различных трудностей можно избежать и получить в высокой степени удовлетворительное согласие с данными наблюдений, если предположить, что центральные области звезд жидки, а не газообразны, тогда как внешние же слои, конечно, являются газообразными В квазижидком ядре атомы не вполне разрушены, удерживая одно, два или даже три кольца электронов, и оказывают приблизительно в 40 раз большее давление, чем следует в случае подчинения законам газового состояния. Эти отклонения от них обеспечивают динамическую устойчивость звезды, почти жидкое ядро, образуют прочную основу, на которой внешние слои звезды могут покоиться в безопасности; термодинамическая устойчивость обеспечивается при допущении, что освобождение энергии звезды радиоактивного типа, т. е., что оно почти не подвержено влияниям температуры и плотности.

..Теория не устанавливает абсолютных величин . . пока не даны атомный вес и атомные номера атомов Я нашел, что наилучшее совпадение с наблюдательным материалом... можно получить, взяв атомный номер около 94. Атомы с меньшими атомными номерами потеряли бы свои электроны при слишком низких температурах, в то время как атомы с более высокими атомными номерами удерживали бы их слишком прочно. Таким образом главная масса центральных жидких областей звезд, повидимому, составлена из ряда «сверхрадиоактивных» атомов, у которых атомный номер идет за номерами обычных радиоактивных элементов, как радий (88) и уран (92). Мы возвращаемся назад к концепции Ньютона, что звезды состоят из особой «светоносной» (lucid) материи, и что эта светоносная материя по сложности, оказывается, идет вслед за нашими земными полусветоносными радиоактив-

ными элементами, предком которых мог являться светоносный элемент».

Джинс считает, что внутреннее ядро Солнца и многих звезд состоит из химических элементов большего атомного веса, чем уран, находящихся в жидком состоянии при температуре в несколько десятков миллионов градусов. На этом основании покоятся газообразные внешние слои, в которых температура еще слишком высока для того, чтобы допустить молекулярные сцепления атомов или даже полные атомные соединения протонов и электронов. Ядра атомов и свободные электроны носятся вокруг, но при таком огромном давлении происходят частые столкновения. И только у поверхностных слоев давление понижается и, наконец, становится чрезвычайно малым в далеких внешних слоях, где мы видим великолепную корону и протуберанцы.

Передача теплоты изнутри Солнца наружу может происходить путем конвекции или путем излучения. Первый процесс заключает в себе передачу тепла посредством взаимных столкновений летающих частиц, так что каждую из них можно рассматривать как крошечный снаряд, несущий капли тепла из более горячих областей Солнца в области менее горячие. Процесс излучения заключается в возникновении волн лучистой энергии в некоторой данной области, которая становится поглотителем излучения для смежных областей, и, таким образом, энергия передается от места к месту.

Согласно теории и наблюдениям над радиаторами, близкими к идеальным, длина волн энергии излучения охватывает широкий диапазон, от самых длинных до самых коротких волн, какова бы ни была температура источника. Но длина волн максимальной энергии уменьшается пропорционально с повышением температуры источника. Поэтому при вычисленной температуре внутреннего ядра Солнца, которую мы можем считать доходящей почти до 50 000 000°, длина волн максимальной энергии будет приблизительно в 10 000 раз меньше, чем в наблюдаемом солнечном свете, или около 0,5 Å. Это величина порядка жестких лучей Рентгена.

Такие лучи сильно поглощаются ионизированными газами, и, возможно, не могут пройти больше нескольких сантиметров, не будучи вполне поглощены. Поэтому прохождение тепла изнутри Солнца наружу представляет собою процесс, сопровождаемый многими остановками и распространяющийся очень медленно, несмотря на то, что мы считаем средние и внешние слои Солнца идеальным газом. Это происходит вследствие того, что излучение хотя и на расстоянии нескольких сантиметров передается от более горячей внутренней части к немного менее горячей, где происходит полное поглощение тепла, сопровождаемое новым его образованием. Из этой новой области вторичное излучение обратно к первоначальному источнику, немного слабее, как идущее от вещества немного более низкой температуры. Таким образом самая горячая область потеряла энергию вследствие обмена, хотя и в очень незначительной степени. Но из области поглощения только что упомянутое излучение идет и вперед и назад. Будучи немного горячее, чем следующий верхний слой, эта область таким же образом теряет энергию вследствие нового обмена. Итак, после бесчисленных последовательных обменов излучений, газы будут иметь несравненно более низкую температуру, чем при начале обмена. Газы на поверхности свободно излучают энергию в пространство с длиной волны ультрафиолетовых, видимых и инфракрасных лучей.

Когда мы думаем о недрах Солнца, мы должны принять во внимание силу, которая при обычных земных лабораторных условиях чрезвычайно мала. Это — лучевое давление. Оно возрастает пропорционально четвертой степени абсолютной температуры, так что при температуре порядка миллионов градусов в средних слоях Солнца оно становится значительным фактором, уравновешивающим силу тяжести вышележащих газов. Как фактор, играющий роль в явлениях, доступных наблюдению, оно становится еще более интересным по отношению к протуберанцам. Для того чтобы объяснить здесь роль этого фактора, нам придется коснуться теории излучения и поглощения в связи со строением атомов.

Структура атома

До сих пор мы говорили только об образовании ионов из атомов, т. е. об ионизации. При этом может происходить изменение положения электронов внутри атома. Это называется возбуждением и возникает под действием электричества или тепла. При переходе из нормального состояния к возбуждению атом поглощает энергию и испускает такое же количество ее при обратном возвращении к нормальному состоянию. Количество энергии, полученное или отданное, определанно по своей величине *; если энергия, которая может быть передана, меньше требуемого минимума энергии для изменения состояния, атом не ответит на возбуждение. Даже самый простейший атом, атом водорода, может принимать только 20 различных состояний возбуждения, а сложные атомы с более высоким атомным весом могут принимать сотни различных состояний.

Когда атом переходит из одного состояния в другое с меньшей энергией, это вообще сопровождается излучением энергии и такое излучение происходит в определенной спектральной линии, характерной именно для этого изменения состояния. При обратном процессе при расходе энергии на переход в возбужденное состояние радиация может быть поглощена в пределах той же самой спектральной линии. Теория этих переходов разрешила то, что несколько лет назад казалось безнадежной путаницей в спектре элементов.

Так как мы не можем в такой элементарной книге, как эта, приводить сложных математических вычислений, мы ограничимся тем, что приведем некоторые из результатов, достигнутых современной спектроскопией, и опишем их применения к изучению солнечного спектра.

Простая иллюстрация может пояснить характер действия. Представим себе ряд деревьев, посаженных на холме с крутым склоном, и несколько мальчиков, си-

---

* Эти определенные количества или порции энергии носят название квантов энергии. — *Прим. перев.*

дящих на каждом дереве, на более или менее равной высоте от земли. У каждого мальчика есть мяч, который он свободно может бросить вниз в корзинки, помещенные на соседних деревьях. Он не может бросить мяча вверх, если не получит на это разрешения. Ясно, что мальчик, сидящий выше всех, может бросить мяч на то из нескольких соседних деревьев, на которое он захочет, но мальчику, сидящему на нижнем дереве, ниже всех своих товарищей, придется оставить мяч у себя, если ему не будет дана возможность бросить его вверх. Мальчик, сидящий на любом среднем дереве, имеет несколько возможностей бросить мяч вверх или вниз на соседние деревья. Каждый мальчик на любом дереве может иметь несколько возможностей бросать мяч вверх, если ему это будет разрешено. Очевидно, что потребуются различные затраты энергии при бросании мяча вверх и вниз в зависимости от различных уровней.

Это, примерно, соответствует теории о «состояниях» химических атомов в отношении поглощения и излучения линий спектра. Небольшие разности в уровне соответствуют энергии инфракрасных спектральных линий, средние — видимым спектральным линиям, а большие — ультрафиолетовым. Требуется сильное возбуждение газов для получения ультрафиолетового спектра по сравнению с возбуждением для инфракрасного. Так же, как имеется много возможностей бросания мяча у мальчиков в приведенном нами примере, существует и много спектральных линий излучения и поглощения, в зависимости от наличия квантов энергии.

Если взять для примера натрий, то при слабом возбуждении, создаваемом горелкой Бунзена, получается только желтая линия D — большой интенсивности — и это можно сравнить с мальчиками, сидящими только на двух нижних деревьях. Но при возрастании температуры до 2 000° или выше в электрической печи атомам натрия предоставится больше возможностей. Это подобно положению других мальчиков на третьем дереве, что увеличивает возможности для бросания мяча вверх и вниз. Дальше, электриче-

ская дуга при 3 500° дает новые возможности, как у мальчиков, сидящих на четвертом дереве, а еще более горячую искру можно сравнить с посылкой мальчиков на другие деревья.

Но имеется еще другая возможность. Так же, как более низкие деревья могут быть срублены, так и атомы могут быть ионизированы. Это значит, что электроны могут совершенно отделиться и, таким образом, атомы при сильном возбуждении лишаются некоторых из своих наиболее элементарных свойств. В этом случае останутся только спектральные линии с большей энергией, которые находятся в ультрафиолетовой части спектра, а с малой энергией, как желтая линия D, исчезнут. Так в действительности и обстоит дело со спектром самых горячих звезд, в которых, как хорошо известно, не останется ни одной из обычных спектральных линий металлов, хотя они и многочисленны в солнечном спектре и в спектрах желтых и красных звезд.

С другой стороны, в корзинку, повешенную на самом низком уровне на самом низком дереве, попадет больше всего мячей, бросаемых сверху, и мальчик, сидящий на этом дереве, будет иметь больше всего возможностей бросать мячи вверх. Подобным же образом состояние наименьшего возбуждения атомов, как, например, возбуждения для желтой линии D натрия, является таким, где спектральные линии наиболее интенсивны и исчезают последними при охлаждении источника, потому что имеется много возможных переходов к такому состоянию и из него.

Эти спектральные линии, появляющиеся при наименьшем возбуждении неионизированного атома, называются по-французски «raies ultimes» (головные линии); этот термин был введен Грамоном (Gramont). Не все элементы имеют свои головные линии в пределах видимого или даже фотографического солнечного спектра. Не по этой ли самой причине некоторые из распространенных земных элементов (бор, фтор, фосфор, сера, хлор, бром и иод) невидимы в спектрах Солнца и звезд, потому что их головные линии лежат за теми ультрафиолетовыми пределами видимо-

сти с поверхности Земли, которые неотвратимо устанавливаются полным поглощением, производимым озоном в верхних слоях земной атмосферы. Конечно, такие элементы могут иметь второстепенные линии в видимом спектре, но последние требуют слишком высокого возбуждения для того, чтобы дать заметный эффект. Поэтому мы можем предположить, что многие из этих элементов находятся на Солнце, несмотря на то, что спектроскоп их не обнаруживает.

Благодаря господствующей внутри Солнца высокой температуре атомы химических элементов ионизируются, или, иными словами, расщепляются на один или несколько электронов и на остаток видоизмененной структуры атома, называемой «ионом». В 1920 г. Саха (Saha) приложил к этому явлению законы, подобные законам химической диссоциации растворов. Происходит непрерывная ионизация и рекомбинация (восстановление) нейтральных атомов. Скорость воссоединения, конечно, возрастает с давлением, которое увеличивает возможность встречи ионов с электронами. Во внешних слоях Солнца условия разреженных газов более благоприятны для ионизации, в то время как их более низкая температура, напротив, неблагоприятна.

Теперь приложим эти различные факты к условиям наружных слоев Солнца. Все последние исследования показывают, что плотность газов в хромосфере Солнца и в области образования фраунгоферовых линий чрезвычайно мала. Величины, порядка 0,0001 давления воздуха на уровень моря, считаются максимумом, допустимым для нижних слоев, дающих темные фраунгоферовы линии. От этих плотностей, как максимума, давление уменьшается, как вычислено, до значений, может быть, в миллион раз меньших в более высоких частях хромосферы. По сравнению с лабораторными условиями, этот предел давлений простирается от неполного вакуума около 0,1 *мм* ртутного столба вниз до наилучшего искусственно достигнутого вакуума.

Эти чрезвычайно низкие плотности с температурами, которые вблизи солнечной поверхности все же

измеряются несколькими тысячами градусов, благоприятны для высокой степени термической ионизации. Поэтому, как объясняет исследование Саха, спектр ионизированного кальция, головные линии которого — известные фиолетовые линии H и K — наблюдаются везде вокруг Солнца до высоты в 11 000 *км*, а иногда виден в протуберанцах на расстоянии, превышающем радиус Солнца над его поверхностью. Подобным же образом спектры других ионизированных элементов очень рельефны в хромосфере, благодаря наличию условий, благоприятных для их видимости, которые были только что упомянуты.

Раньше было непонятно, как солнечная хромосфера и протуберанцы могут достигать такой колоссальной толщины. Сравните, например, только что приведенные солнечные высоты в 11 000 и 700 000 *км* соответственно с максимальной высотой, до которой может доходить земная атмосфера, не превышающей 300 *км*. Совершенно ясно, что в области около поверхности Солнца, где тяготение приблизительно в 30 раз больше, чем на земной поверхности, должна действовать какая-то отталкивательная сила, которая препятствует установлению градиента плотности, достигающего всего лишь 0,01 градиента земной атмосферы. Этой отталкивательной силой, несомненно, является лучевое давление.

Энергия, способная поддерживать, например, ионы кальция лучевым давлением, есть энергия широких полос H и K спектра.

Болометрическим исследованием я установил, что эти полосы составляют около 1/[illegible] энергии солнечного спектра. В 16 000 *км* от поверхности Солнца, где радиация в 45 000 раз интенсивнее, чем на расстоянии Земли, это излучение равняется приблизительно 30 калориям на 1 $см^2$ в минуту. Предположим, что ион кальция имеет эффективное поперечное сечение около $1 \cdot 10^{-14}$ $см^2$ и весит на поверхности Земли $7 \cdot 10^{-23}$ *г*. Тогда, согласно опытам Никольса (Nichols) и Гулля (Hull), лучевое давление около солнечной поверхности, производимое энергией линий H и K, должно быть около $1 \cdot 10^{-22}$ *г*, в то время как

сила тяготения Солнца будет оказывать противодействие в $2 \cdot 10^{-21}$ *г*.

Ввиду неопределенного поперечного сечения иона кальция, нельзя целиком полагаться на хорошее совпадение двух только что приведенных цифр, оно дает лишь подтверждение нашей гипотезы. Конечно, цифры подошли бы еще ближе, если бы принять во внимание тот факт, что на расстоянии всего лишь в 16 000 *км* от поверхности Солнца большая часть солнечного излучения достигает до частицы по направлениям, мало благоприятным для того, чтобы произвести ее радиальное смещение от Солнца. Так как и лучевое давление и тяготение уменьшаются с квадратом расстояния от источников энергии, то очевидно, что в случае равновесия на некотором уровне они остались бы также приблизительно в равновесии и на других уровнях. Это может объяснить нам, почему ионизированный кальций обладает таким разнообразием уровней и проходит так далеко и так быстро в хромосферу и в эруптивных протуберанцах.

Другие элементы, электроны и ионы, имея различные диаметры и отличаясь от ионизированного кальция способностью поглощения радиации, должны подвергаться другим лучевым давлениям. Имея массы, отличные от ионизированного кальция, они должны притягиваться с иной силой. Поэтому эти различные условия отталкивания и притяжения отнюдь не способствуют установлению равновесия в хромосфере Солнца. Этим хорошо объясняется, почему некоторые из этих элементов там невидимы. Нужно также помнить, что еще другая сила — сила электростатического притяжения или отталкивания — может также действовать в этой области Солнца.

Делая предположение о температурах и давлениях, преобладающих во внутренних частях Солнца, нет предела числу моделей, которые могут одинаково удовлетворить данным условиям. Однако Эддингтон пришел к довольно определенным результатам на основе допущения полностью газообразного его строения. Джинс считает необходимым внести поправки в эту гипотезу, приняв, что центральное ядро

жидкое и состоит из химических элементов более высокого атомного веса, чем уран.

Так как еще не решен вопрос о состоянии материи, мы будем рассматривать теорию чисто газообразного Солнца, разработанную главным образом Эддингтоном.

Предполагается, что атомы сильно ионизированы высокой температурой. Таким образом, несмотря на то, что Солнце, весьма вероятно, построено подобно Земле, в которой изобилуют металлы и элементы больших атомных весов, ионизация значительно увеличивает число частиц. Диаметры частиц, являющихся электронами и ядрами атомов, возможно, в 100 000 раз меньше диаметров молекул. Таким образом им представляется такая же свобода движения в Солнце, как и внутри газа, состоящего из молекул, при обыкновенных лабораторных условиях, хотя вещество, составляющее С[illegible]

[illegible]

ратура. Не определяя в данный момент закона распределения плотности внутри такого шара идеального газа, мы можем, если нам нравится, рассмотреть ряд таких шаров, сходных в том отношении, что в каждом из них плотность составляет одинаковую долю плотности в центре, если ее измерять в точках, отстоящих от центра на равных долях градуса. Такие шары можно назвать соответственными. В 1870 г. Гомер Лэн высказал некоторые общие положения, получившие название законов Лэна.

Допустим, что общая масса любого из таких шаров будет M. Тогда, согласно Лэну, плотность будет изменяться, как $\frac{M}{r^3}$, давление как $\frac{M^2}{r^4}$, а температура

как $\frac{mM}{r}$; m и r, как и раньше, означают молекулярный вес и радиус для рассматриваемой точки внутри шара. Следовательно, в двух неравных, соответствующих сферах идеального газа, различающихся только по величине внешнего радиуса, но не по массе или по молекулярному весу, плотность ρ соответствующих точках будет меняться как $\frac{1}{r^3}$, давление как $\frac{1}{r^4}$, а температура как $\frac{1}{r}$.

Мы не будем доказывать этих положений, которые математически очевидны.

Последнее выражение чрезвычайно интересно в связи с предположением Гельмгольца (Helmholtz) о том, что энергия излучения Солнца произошла от сжатия шара значительно большего диаметра. На основании этого мы можем притти к заключению, что если чисто газообразная звезда сжимается, сохраняя условия равновесия до тех пор, пока ее радиус не уменьшится вдвое, температура в соответствующих точках, включая поверхность, удвоится при условии, что за это время в молекулярном состоянии не происходит никаких изменений. Это приводит нас к любопытному парадоксу. Непрерывно излучающая звезда сжимается. Мало помалу, когда она сократится до половины своего диаметра, то, согласно закону Лэна, температура ее везде будет вдвое выше первоначальной.

Будучи вдвое горячее и все же сохраняя свою прежнюю массу (мы имеем в виду молодую звезду, энергия которой не начала еще увеличиваться за счет уничтожения массы), сфера, после потери радиации за счет тепла, будет содержать общее количество теплоты приблизительно вдвое большее, чем в начале. Это вытекает из предположения, что на удельную теплоту лишь в незначительной степени влияют плотность или температура, что верно по крайней мере для обычного газообразного состояния.

Этот парадокс легко объясним, если вспомнить, что механическая энергия первого более разреженного со-

стояния также потеряна вследствие падения всего газа по направлению к центру сферы. Здесь энергия положения преобразовалась в теплоту, а часть ее еще дальше преобразовалась в излучение. Ум воспринимает конечный результат, считая его логичным, но трудно соглашается с непрерывностью промежуточного процесса. Дело становится яснее, если мы примем во внимание, что точного равновесия никогда не достигается, хотя оно и осуществляется настолько близко, что состояние приблизительно управляется законами Лэна. Сфера непрерывно сжимается, развивая при этом теплоту быстрее, чем она рассеивается через излучение.

Взгляды Эддингтона

Законы Лэна выражают условия равновесия внутри сферы идеального газа и учитывают только силы тяготения и давления газа. Но, как указал Эддингтон, лучевое давление также должно быть принято во внимание. В то время как давление газа увеличивается прямо пропорционально температуре, лучевое давление возрастает как четвертая степень температуры и, таким образом, становится огромным при условиях, подобных условиям, господствующим в недрах Солнца.

Невозможно установить окончательные соотношения среднего молекулярного веса, плотности и температуры в недрах Солнца, даже на основании рассмотренной гипотезы. Однако возможно установить вероятную величину среднего молекулярного веса, если допустить, что химические элементы, представляющие состав Солнца, входят в таких же соотношениях, как и на Земле. Выведенная средняя величина заключается между 2 и 3, т. е. между молекулярными весами водорода и гелия, если принять во внимание ионизацию. Что же касается остальных условий, то Эддингтон делает предположение, что лучевое давление на всех глубинах звезды составляет постоянную долю от силы тяготения так, что давление радиации и давление газа находятся в постоянных соотношениях. Это равносильно предположению, что Солнце

построено согласно некоторой правдоподобной, но не доказуемой модели.

На основании этих предположений распределение температуры, массы и плотности внутри Солнца, грубо вычисленные по данным Эддингтона*, приведены в табл. 15.

Таблица 15

Вероятное внутреннее строение Солнца

Доля радиуса	Абсолютная температура	Доля радиуса	Доля массы внутри	Доля объема внутри	Плотность (вода = 1)
0,12	46 000 000	0,14	0,1	0,003	42,0
0,17	41 000 000	0,18	0,2	0,006	42,0
0,23	36 000 000	0,22	0,3	0,011	28,0
0,28	31 000 000	0,25	0,4	0,016	22,0
0,34	26 000 000	0,28	0,5	0,022	13,0
0,40	21 000 000	0,32	0,6	0,033	10,0
0,47	15 000 000	0,36	0,7	0,047	4,0
0,59	10 000 000	0,43	0,8	0,080	3,0
0,74	5 000 000	0,51	0,9	0,133	2,7
1,00	6 000	1,00	1,0	1,000	1,2

Хотя детали этой картины внутреннего строения Солнца, может быть, неясны и неточны, основные черты правдоподобны и внушают восхищение. Мы представляем себе шар в 333 000 раз тяжелее Земли, состоящий не из твердых тел, как Земля или Луна, а из газов, подобных атмосфере, покоящихся, быть может, на центральном жидком основании, подобном океану. Однако температура, господствующая внутри этого ужасного котла, настолько высока, что даже свободы газообразного состояния, как мы это знаем, недостаточно, и самые атомы распадаются. Мы смутно представляем себе давления, достигаемые на больших глубинах твердой Земли. Мы вспоминаем, например, что Панамский канал несколько раз преграждался

* Приведенные в табл. 15 значения даны скорее как некоторая иллюстрация, и их нельзя приписывать Эддингтону или считать имеющими точное значение.

оползнями, выдавленными колоссальными силами, созданными весом берегов по обеим сторонам. Но ничто в нашем опыте не может нам дать представления о тех колоссальных, безжалостных, сдавливающих тисках, в которых зажаты газы в недрах Солнца до плотности, далеко превосходящей плотность платины.

Для усиления контраста с этой ужасающей картиной нужно запомнить, что из этого же источника исходят потоки света и лучи, рождающие жизнь, без которых на Земле погибли бы все без исключения — и певчие птицы, и роза, и растущие зерна, и прекрасное дитя.

Различные явления

Приняв взгляд, что внешние слои Солнца вполне газообразны, следует более подробно рассмотреть некоторые явления.

Нужно объяснить: 1) Почему Солнце представляется резко ограниченным? 2) Почему сильное излучение фотосферы не охлаждает настолько ее поверхность, чтобы возникали облака? 3) Почему на Солнце заметна более или менее определенная структура? 4) Почему спектр Солнца в основном непрерывный? 5) Почему по мере приближения к лимбу замечается постепенное уменьшение яркости и изменения в спектральном распределении? 6) Почему в солнечном спектре имеются темные линии?

Кроме этих основных вопросов, имеются тысячи деталей, которых нет необходимости перечислять здесь, но которые не должны находиться в противоречии с любой удовлетворительной теорией Солнца. Наконец остаются еще большие проблемы периодичности солнечных пятен, факелов и т. д., изменения скорости вращения Солнца с широтой и пополнения солнечной энергии.

1) *Почему Солнце представляется резко ограниченным?* Сначала мы докажем, что большой шар обыкновенного газа должен представляться резко очерченным. В своих знаменитых математических исследованиях света неба Релэй показал, что эффект поглощения лучей света молекулами газа или группами частиц, малых

по сравнению с длиной волны света, можно выразить следующим соотношением:

$$k = \frac{32\pi^2(\mu - 1)^2}{3N},$$

где k — коэфициент поглощения, μ — показатель преломления и N — число частиц или молекул в 1 $см^3$. Шустер показал, что соотношение не зависит от принимаемой теории, если μ близко к единице. Это верно по отношению ко всем газам. Шустер применил эту количественную теорию поглощения к атмосфере. Для N он воспользовался значением Ретзерфорда и Гейгера, а именно $2{,}72 \cdot 10^{19}$ молекул на 1 $см^3$. Если h — высота однородной атмосферы, т. е. высота, до которой простиралась бы атмосфера при неизменной температуре и давлении на всем ее протяжении, тогда e^{-kh} — есть доля света, которая достигает наблюдателя, если свет не теряется каким-либо другим способом, помимо рассеяния молекулами. Из этих данных Шустер вычислил поглощение на уровне моря и на высоте 1 800 *м* и сравнил вычисленные значения с прозрачностью, наблюденной в дни средней и максимальной прозрачности в Вашингтоне и на горе Вильсона, главным образом наблюдателями Смитсонианского института.

Таблица 16

Различие между наблюденными и вычисленными значениями прозрачности атмосферы

Длина волны в μ	Наблюдения в Вашингтоне		Вычисление — „ясный день"	Наблюдения на горе Вильсона		Вычисление — „ясный день"
	среднее	ясный день		среднее	ясный день	
0,4	0,55	0,72	—0,01	0,73	0,76	0,00
0,5	0,70	0,84	+0,03	0,85	0,89	0,00
0,6	0,76	0,87	0,07	0,89	0,92	0,03
0,7	0,84	0,90	0,06	0,94	0,96	0,01
0,8	0,87	0,94	0,04	0,96	0,99	—0,01
1,0	0,90	0,96	0,03	0,97	0,99	0,00

Шустер пришел к заключению, что в ясный день на горе Вильсона рассеяние молекулами воздуха полностью объясняет атмосферное поглощение. Даже в Вашингтоне он объясняет тем же бо́льшую часть потери в атмосфере, хотя в день средней ясности некоторая доля должна быть приписана отражению и поглощению более крупными частицами пыли.

Проф. Натансон рассмотрел этот вопрос с точки зрения электронной теории. Он расходится в некоторых пунктах с мнением Рэлея и Шустера, однако его формула рассеяния практически такова же; только он вместо числа молекул вводит число электронов на 1 $см^3$. Натансон также сравнил свою теорию с наблюдениями, произведенными в Вашингтоне и на горе Вильсона и обнаружил близкое согласие. Его заключение не так многословно, но результаты его исследования показывают, что ослабление света на горе Вильсона в наиболее ясные дни можно объяснить рассеянием света самим глазом, не принимая во внимание частиц пыли.

Все это безусловно имеет очень большое значение для наших воззрений о Солнце. Температура слоев, от которых мы получаем большую часть света, как уже было сказано, превышает 6 000° абс. Насколько известно, нет такого вещества, которое могло бы существовать при этих условиях в ином состоянии, чем парообразном. Поэтому кажется правильным предположить, что на Солнце нет ничего жидкого и твердого, за исключением, может быть, солнечных пятен, и что его вещество, которое мы видим, совершенно газообразно. Но если это так, то возникает вопрос, каким же образом Солнце может иметь резкие очертания?

Согласно теории Шмидта, которая пользовалась некоторым признанием, это вызывается влиянием рефракции. Но если Релэй, Шустер и Натансон правы, приписывая эффект рассеяния света действию газов, то нет нужды обращаться к теории Шмидта и применение ее не имеет смысла. Действительно, если, как вычислено Шустером, количество газа в вертикальном столбе атмосферы над горой Вильсона достаточно для рассеяния 6% прямых лучей желтого солнечного света,

то толща, содержащая в 75 раз больше газа, будет достаточна для рассеяния 99%.

Принимая во внимание большую силу тяготения, давление ниже поверхности Солнца должно быстро достигнуть 5 *ат*. Допустив, что средняя абсолютная температура фотосферы 6 500 , в воздухе 250 , количество газа в 1 *см*^{3} во внешнем слое должно быть около $^1/_6$ количества его в воздухе при атмосферном давлении. Так как высота однородной атмосферы над горой Вильсона менее 16 *км*, количество же газа в 75 раз большее на Солнце будет заключаться в пределах 7 200 *км* от верхней границы обращающего слоя. В этом подсчете предполагается направление луча зрения по радиусу Солнца и за среднее давление принимается 5 *ат*. Если, как говорит Эвершед, давление обращающего слоя равно только одной атмосфере, все же мы должны допустить, что давление быстро возрастает с глубиной, так что эта оценка представляется достаточно широкой.

Поэтому кажется вероятным, что только рассеяние газов мешает нам видеть по направлению к центру Солнца, больше чем на 8 000 *км* вглубь обращающего слоя, если смотреть прямо на середину солнечного диска. К точке обращающего слоя, находящейся на краю диска, но на таком же радиальном расстоянии от центра Солнца, луч зрения должен пройти внутрь газа не менее чем на 100 000 *км*. Поэтому, чтобы наша толща содержала потребное количество газа для практически полного поглощения желтого света на краю, мы должны проникнуть взглядом сквозь слой, который, измеренный вдоль радиуса, окажется гораздо тоньше, чем слой, необходимый для этого в центре диска. Так, даже для радиальной глубины всего лишь в 800 *км* путь луча зрения на краю равен приблизительно 30 000 *км*.

Эти соображения как будто дают удовлетворительное объяснение резким очертаниям Солнца. На краю диска, благодаря наклону луча зрения, рассеяние газов, вероятно, поглотит почти весь желтый свет, начиная с расстояния в 800 *км* ниже хромосферы, а для поглощения голубого или фиолетового света достаточна даже меньшая толщина. Совершенно очевидно, что не-

определенность очертаний, соответствующая слою такой глубины, не будет заметна на изображении Солнца, так как она соответствует примерно только одной секунде дуги. Кроме того, направление луча зрения проходит не только в пределах видимого, но и в пределах невидимого полушария Солнца. Поэтому слой еще более тонкий чем 800 *км*, достаточен, чтобы дать весь свет, который несет луч, идущий по направлению линии зрения. Таким образом мы приходим к заключению, что Солнце должно казаться резко ограниченным как твердое тело, хотя оно полностью газообразно *.

2) *Почему не существует облачной фотосферы?* Юнг и многие другие утверждали, что обязательно должна существовать облачная фотосфера, как результат соприкосновения горячих газов Солнца с холодным пространством. Не возвращаясь к доказательству того, что температура так называемой фотосферы превышает 6 000° абс. и что нет такого вещества, которое могло бы существовать не в виде паров при такой температуре, можно задать вопрос: разве отсутствие облака сразу же над паровозной трубой зимой не доказывает, что такая близость горячих газов с холодным окружающим пространством возможна без образования облаков. Непосредственно над трубой паровоза облака не образуются потому, что пар перегрет выше точки кипения. Можно возразить, что требуется некоторое время для образования облака и, благодаря быстрому движению пара, оно относится за этот промежуток времени немного выше трубы паровоза. Но это допускает, что пока пар остается перегретым, облака не образуется; поэтому, чтобы помешать образованию облака, нужно только сообщать тепло пару, как только тепло из него выходит, и поддерживать пар перегретым.

Подобным же образом дело обстоит и на Солнце. Нагревание передается изнутри поверхностным слоям достаточно быстро, чтоб поддерживать последние при

---

* В последнее время Линдблад (Lindblad) и другие придерживаются того мнения, что скорее поглощение, чем рассеяние отсекает луч зрения. Это приводит к еще более резким вероятным очертаниям газообразного Солнца.

температуре выше 6 000°, несмотря на излучение в пространство, а при такой температуре не образуется никаких облаков. Передача тепла изнутри, вероятно, происходит почти полностью, благодаря повторному излучению, а не вертикальным токам конвекции[1].

3) *Какова причина так называемой «зернистой структуры» Солнца, если нет облаков?* Не следует полагать, что перенос тепла изнутри наружу совершенно равномерен во всех частях, потому что, как можно судить по солнечным пятнам, протуберанцам и короне, имеются нарушения однородности на Солнце. На основании этого можно предположить, что некоторые области газа немного горячее остальных и что эти разности температур создадут разность в яркостях. По закону излучения увеличение яркости идет значительно быстрее соответствующего повышения температуры.

Проф. Ю. Шейнер в 1895 г. опубликовал теорию солнечной грануляции, которая представляется весьма правдоподобной и которая, рассматривая грануляцию просто как области местного охлаждения без действительной конденсации, также удовлетворяет теории газообразного Солнца, как и теории облачной фотосферы.

Проф. Шейнер говорит: «Согласно теории Гельмгольца воздушные волны образуются, когда два слоя воздуха различной температуры (т. е. плотности) скользят один над другим точно так же, как волны на воде образуются скольжением над водой воздуха. Если нижний слой почти насыщен водяным паром, то на гребнях волн произойдет конденсация паров вследствие понижения давления. При таких обстоятельствах вершины гребней волн кажутся облаками, углубления или впадины — прозрачными промежутками и, таким путем, образуется более или менее правильный ряд перистых облаков. Если импульсы, ведущие к образованию волн, действуют в двух противоположных направлениях, волны пересекаются и мы получаем такое

[1] Эта точка зрения Шварцшильда, а также Си[illegible] принята в настоящее время.

образование облаков, которое известно под названием барашков. Большое сходство внешнего вида солнечной фотосферы и земных перистых облаков было признано давно. Несомненно, что необходимые условия для применения теории Гельмгольца к солнечной атмосфере — наличие слоев с различной температурой, пересыщенное состояние сгущаемых газов (в фотосфере) и различные направления течений в различных слоях — обнаружены на Солнце. Поэтому я считаю яркие гранулы (зерна) фотосферы гребнями волн, ставшими видимыми вследствие конденсации или по крайней мере увеличения конденсации двух пересекающихся рядов волн».

В последующем изложении мы можем принять взгляд Шейнера, не допуская лишь действительной конденсации. Поэтому его яркие зерна будут нашими темными, так как более холодные области должны излучать слабые. Читатель увидит, что это исправление интерпретации Шейнера по крайней мере правдоподобно, благодаря тому факту, что спектрогелиограммы показывают яркие и темные водородные флоккулы и, конечно, нельзя даже допустить мысли о такой вещи, как сгущенные облака водорода при температуре Солнца.

4) *Почему солнечный спектр в основном непрерывный?* Известно, что газы дают только линейчатые спектры, в то время как солнечный спектр, наоборот, представляет собой в основном спектр непрерывный, пересеченный линиями поглощения. В ответ на это можно сказать, что газы с возрастающим давлением дают наряду с яркими линиями спектры все более и более непрерывные даже в слоях малой толщины, подобно получаемым в лабораториях (рис. 79). Подумайте, почему же в таком случае слои толщиной во много километров, находящиеся под давлением по крайней мере в несколько атмосфер, не смогли бы дать вполне непрерывного спектра.

5) *Чем обусловливается падение яркости к краю диска и его покраснение?* Как уже говорилось выше, свет, получаемый почти от края солнечного диска, поступает полностью с более поверхностных слоев, чем

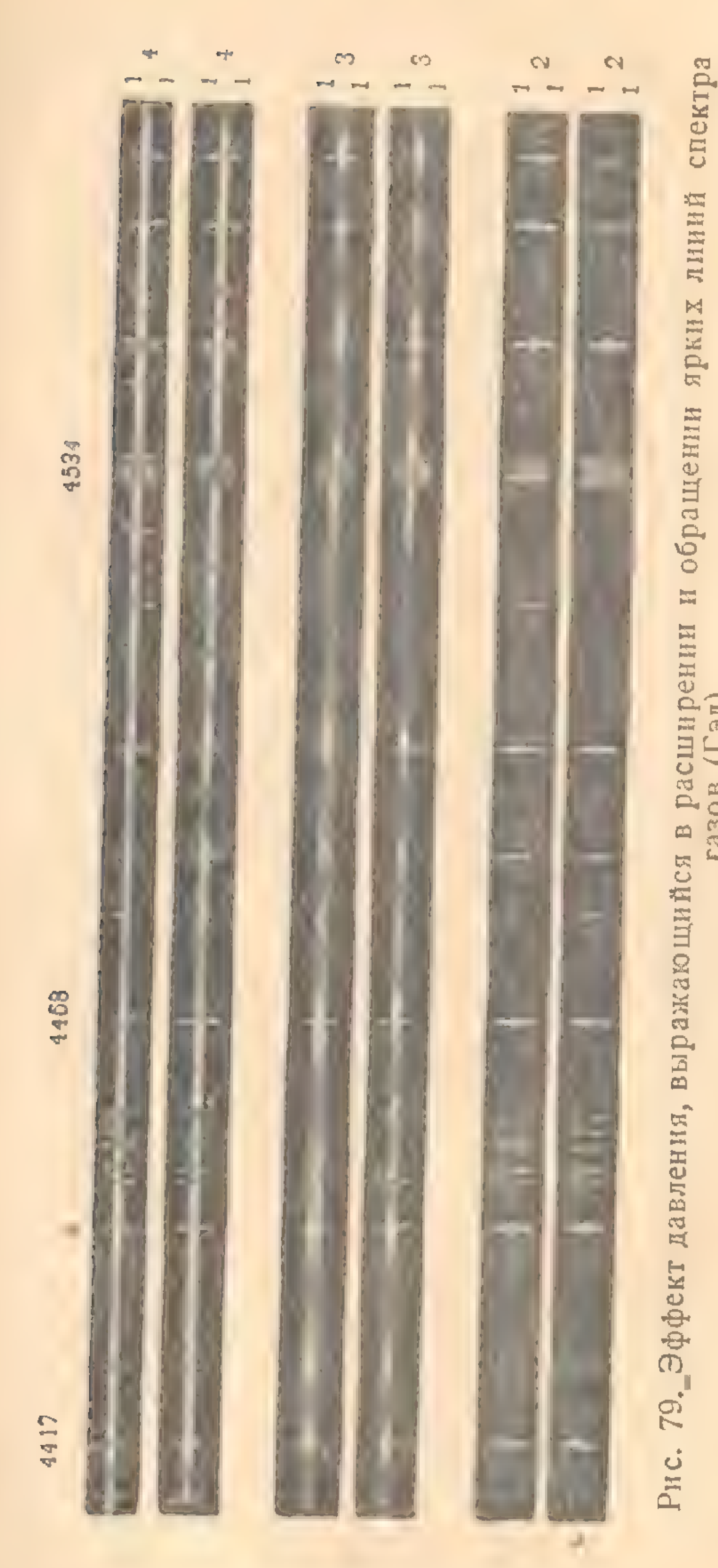


Рис. 79. Эффект давления, выражающийся в расширении и обращении ярких линий спектра газов (Гэл).

1—давление в 1 *ат* в воздухе; *2*—давление в 3 *ат* в углекислоте; *3*—давление в 9 *ат* в углекислоте, *4*—давление в 17 *ат* в углекислоте.

свет от центра диска, потому что на солнечном краю мы смотрим вглубь Солнца наклонно, а значит по более длинному пути и рассеяние молекулами пресекает луч зрения прежде, чем достигнуты столь же глубокие слои, какие видны в центре диска. На краю солнечного диска слои, которые испускают нам свет, будучи более поверхностными, а значит и более холодными, дадут менее интенсивный свет, чем слои, находящиеся в центре диска.

Ссылаясь на табл. 7 и 8 гл. III, можно вычислить, при помощи закона Стефана, или же закона Вина, изменение эффективной температуры, нужное для изменения яркости к солнечному краю. Как видно из табл. 8, оба метода вычисления дают вполне согласные результаты. Продолжив немного эти результаты, мы имеем нижеследующие разности температур, допустив, что температура центра диска равна 6 000° абс. Эти разности температуры можно сравнить с соответствующими разностями высот расположения самого нижнего наблюдаемого слоя; предположив глубину в 0,01 радиуса или 7 000 *км* как предел видимости в центре диска *.

Доля радиуса от центра диска	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Уменьшение температуры	0°	20°	45°	80°	115°	160°
Повышение уровня нижнего видимого слоя	0 *км*	66 *км*	140 *км*	315 *км*	545 *км*	930 *км*

Малый температурный градиент порядка 1° на 1 *км* изменения уровня, требуемый для такого объяснения, кажется не больше того, что мы могли бы ожидать во внешних слоях Солнца.

Так как рассеяние сильнее для фиолетовых, чем для красных лучей, то фиолетовые лучи в среднем идут от более поверхностных слоев, чем красные, как в центре, так и на краю диска. Поэтому диаметр Солнца должен быть больше, если его измерять в фиолетовых лучах, чем в красных. Но разность

* Новейшие предположения (см. стр. 238) дают меньшие величины.

в диаметре вследствие этого, вероятно, слишком незначительна для того, чтобы быть измеренной. Она затушевывается «кипением» изображения Солнца, дифракцией и рассеянием света в земной атмосфере, каждое из которых в отдельности производит, повидимому, больший эффект на краю, чем тот факт, о котором мы говорим. По формуле Планка изменение интенсивности излучения, сопровождающее изменение температуры излучающего источника, относительно больше для коротких волн, чем для длинных. Отсюда следует, что фиолетовые лучи по отношению к красным должны быть на краю слабее, чем в центре диска. Это согласуется с наблюдениями. Будет ли этот эффект увеличен или уменьшен вследствие того, что эффективный излучающий слой для фиолетовых лучей ближе к поверхности, чем для красных как в центре, так и у краев — это зависит от относительной перемены температуры, обусловленной этим сдвигом глубины в двух областях. Пока не представляется еще возможным установить, как это будет.

6) *Почему в солнечном спектре имеются темные линии?* Все фраунгоферовы линии были бы яркими, если на них смотреть на темном фоне *. Они темные только относительно более яркого непрерывного спектра. В этих линиях избирательное поглощение чрезвычайно сильно и уже на малом расстоянии проходящее излучение поглощается совершенно. Поэтому по сравнению с непрерывным спектром эти линии излучаются очень близко от поверхности Солнца. Этот поверхностный слой, в котором они возникают, холоднее слоя, лежащего за ним, значит и излучение его менее интенсивно, а отсюда следует сравнительная слабость фраунгоферовых линий. Что касается центра и края Солнца, то можно было бы ожидать лишь небольшое изменение в абсолютной яркости фраунгоферовых линий, потому что, благодаря сильному избирательному поглощению и там и тут, они представляют собой резко поверхностные явления и в центре и на

* Различные ученые оценивают их яркость от $^1/_6$ до $^1/_{10}$ яркости непрерывного спектрального фона.

краю. Таким образом незначительные изменения в эффективной глубине и температуре, при которых они излучаются, происходят независимо от того, под каким углом рассматривается поверхность Солнца. Иначе обстоит дело с процессом ослабевания вследствие рассеяния, которое требует большой толщи газа; поэтому, как мы уже видели, сплошной спектр ярче в центре Солнца, чем на краю. Следовательно, контраст или «интенсивность» фраунгоферовых линий падает по мере приближения к краю потому, что при малом изменении самих линий яркость фона, на котором они видны, становится слабее.

Почему не все химические элементы одинаково представлены их солнечными линиями? Не нужно делать из сказанного в шестом вопросе того вывода, что «обращающий слой» не имеет толщины или что его эффективная толщина не изменяется от центра к краю Солнца, правильнее, что обращающий слой для каждого из элементов является тонким по отношению к эффективной толщине того слоя, который дает непрерывный спектр в центре солнечного диска. Поэтому мы можем различать спектральные линии высокого и низкого уровней. Нужно ожидать a priori, что элементы высокого атомного веса и высокой температуры парообразования должны быть найдены в нижних слоях и что спектральные линии данного элемента с большей длиной волны представляют более высокие уровни, поскольку это зависит от связи между температурой и излучением *.

Можно, пожалуй, ожидать, что обращающий слой тяжелого элемента лежит ниже обращающего слоя легкого элемента. Вполне возможно, что в лежащих очень низко элементах вследствие рассеяния их спектры совсем исчезнут к краю Солнца, хотя появятся в его центре. Обычно низколежащие элементы дают слабые фраунгоферовы линии.

Из гл. III читатель помнит отмеченную связь между атомным весом и интенсивностью линий солнечного

---

* Эффект рассеяния, однако, будет итти в другом направлении.

спектра. В общем элементы с меньшим атомным весом дают в солнечном спектре более интенсивные линии. С другой стороны, группа платины, очень высокого атомного веса, только отчасти представлена в солнечном спектре.

Относительное обилие атомов различных элементов также имеет заметное влияние на интенсивность их солнечных линий *. Элементы, представленные весьма скудно, дают в спектре только свои головные линии (raies ultimes). Эти линии могут не попасть в область визуальных и фотографических наблюдений. Некоторые элементы, головные линии которых не доступны для наблюдений, имеют другие линии, требующие сильного возбуждения, которые лежат уже в частях спектра, легко поддающихся наблюдениям. Но благодаря тому, что сравнительно немного атомов находится в состоянии достаточно сильного возбуждения для образования этих линий, последние слабы. Так обстоит дело с кислородом, который имеет триплет, легко фотографируемый с длиной волны λ 7772—75,

* В 1927—1928 гг. немецкий физик Унзёльд (Unsöld) развил метод, позволяющий по виду спектральной линии определить число атомов, находящихся в столбе солнечной атмосферы с поперечным сечением в 1 *см*² и образующих эту спектральную линию. Чем линия оказывается шире, тем больше это число атомов. Известный американский астрофизик Рéсселл (Russel), воспользовавшись измерениями и теорией Унзельда, а также новыми таблицами фраунгоферовых линий солнечного спектра (см. примечание на стр. 73), определил количественный состав солнечной атмосферы. Согласно Рёсселлу вероятный состав солнечной атмосферы (в процентах) таков:

Элементы	H	He	O	Металлы	Свободные электроны
Состав по объему	91	3(?)	3	2	1
Состав по весу	46	6(?)	24	24	0

Из металлов, находящихся на 80% в ионизованном состоянии (атомы которых потеряли 1 электрон), дающем так называемые подчеркнутые линии в солнечном спектре, больше всего магния и железа, далее кремния, натрия, калия и кальция. Вообще говоря, состав Солнца сходен с составом земной коры и с составом метеоритов. — *Прим. ред.*

хотя немного дальше видимых красных лучей. Но, так как этот триплет требует сильного возбуждения, он обычно бывает слабым. Однако, основываясь на обилии полос окисей элементов, наблюдаемых в солнечных пятнах, и по соображениям вероятности, почти несомненно, что кислород на Солнце имеется в изобилии.

С другой стороны, некоторые элементы имеют многочисленные линии, не требующие чрезмерного возбуждения и благоприятно расположенные для наблюдений. Это создает впечатление непропорционально большого обилия этих элементов. Железо, несомненно имеющееся в большом количестве на Солнце, имеет в данном отношении то преимущество, что масса его линий расположена в той части спектра, которая наиболее доступна для исследований. В противоположность железу кремний, который, судя по аналогии с Землей, должен был бы быть распространенным элементом, имеет только одну сильную линию в наблюдаемой области, которая не является важнейшей линией, но линией второстепенной.

Спектры важнейших отрицательных элементов как фосфор, сера и галоиды дают сильные линии за наблюдаемым ультрафиолетовым пределом солнечного спектра, далее 2 900°. Некоторые из более редких элементов, включая недавно открытые, до сих пор еще не изучены полностью в лаборатории. Может быть через некоторое время будут установлены их солнечные линии, неизвестные теперь. Некоторые из элементов, не выявленных в обыкновенном спектре фотосферы, найдены в спектре солнечного пятна. Это имеет место для некоторых щелочных металлов, которые так легко ионизируются, что оставляют незначительное число атомов в нормальном состоянии при температуре фотосферы. В более холодных солнечных пятнах достаточное количество их атомов не ионизировано и может дать свои важнейшие линии. Это происходит в красной и инфракрасной частях спектра.

В общем нет оснований думать, что на Солнце недостает каких-нибудь химических элементов, несмотря

на то, что линий элементов в солнечном спектре не обнаружено. То явление, что некоторые из элементов кажутся непропорционально обильными, в значительной степени вызывается случайными обстоятельствами, ограничивающими наблюдаемую область солнечного спектра.

Чем объясняется различие в характере и длине волны фраунгоферовых линий в центре и на краю Солнца? Читатель вспомнит, что помимо влияния вращения Солнца и общего опускания ярко светящихся газов у солнечной поверхности Адамс подтвердил результаты исследований Хальма, Бюиссона и Фабри о том, что на краю солнечного диска по сравнению с центром наблюдается общее смещение центров большинства солнечных линий по направлению к красному концу. Это смещение ничтожно для более выдающихся линий водорода, кальция, стронция и магния и мало для остальных линий этих элементов. Смещение также очень мало для элементов высокого атомного веса. Линии железа и никеля обнаруживают бо́льшие смещения, чем линии титана, ванадия и скандия. Подчеркнутые линии обнаруживают бо́льшие сдвиги, чем линии дугового спектра. Линии более интенсивные на краю диска обнаруживают небольшое смещение. Смещение больше для длинных, чем для коротких волн. Характер линий на краю Солнца также меняется. Некоторые сильные линии элементов водорода, натрия, кальция, кремния, магния, алюминия, железа, хрома, титана и марганца частично или полностью теряют «крылатый» вид, который они имеют в центре. Многие линии элементов всех родов легко расширяются. Подчеркнутые линии и линии элементов высокого атомного веса обычно сильно слабеют.

Ослабление линий высокой температуры и линий низко расположенных элементов можно приписать рассеянию. При взгляде на центр солнечного диска мы смотрим прямо вниз на нижние части обращающего слоя. Лучи от них идут к нам под более благоприятными углами рассеяния, чем от края Солнца, где они для того чтоб пойти по направлению линии зрения, должны претерпеть рассеяние вследствие одного или

нескольких отражений под прямым или близким к нему углами. Поэтому непрерывный спектр на краю Солнца вторгается в эти линии, ослабляя их своим светом. Кроме того не менее важно, что непрерывный солнечный спектр слабее у солнечного края по уже приведенным причинам и сообщает линиям меньший контраст даже при отсутствии только что описанного эффекта. Это ослабление непрерывного спектра на краю Солнца значительно способствует уменьшению видимости «крыльев» линий, потому что они видны на фоне, который по мере приближения к краям Солнца все больше и больше приближается к их собственной силе излучения. Расширение линий возможно является следствием смешанного эффекта Допплера, соответственно различным уровням, вращающимся с неодинаковыми скоростями.

Адамс объясняет заметное смещение подчеркнутых линий предположением, что в центре Солнца поднимаются газы более высокой температуры, а более холодные падают, давая в общем спектральный эффект восхождения, потому что бо́льшая часть света исходит от более ярко излучающего вещества, которое поднимается. Но для линий высокой температуры или «подчеркнутых» линий наблюдается наибольшая скорость поднятия (больше, чем для средних линий), потому что опускающиеся более холодные пары не излучают и не поглощают подчеркнутых линий, так что в спектре центра диска для этих линий наблюдается смещение по направлению к фиолетовой части, которое создает впечатление увеличенного смещения спектра края по направлению к красному концу. Действительно, на краю Солнца эти движения поднятия и опускания происходят под прямыми углами к лучу зрения и поэтому не производят эффекта Допплера.

Объяснив, таким образом, эффект Допплера в основном вращением и восходящими токами, Адамс относит оставшееся смещение за счет давления, в зависимости от уровня слоя. Линии высокого уровня не смещаются, так как они излучаются при незначительном давлении как на краю, так и в центре. Линии низкого уровня не смещаются, так как они исходят от тонкого пласта

в самой глуби видимого нами слоя, который должен находиться под давлением хотя и высоким, но почти одинаковым и в центре, и на краю диска. Рассеяние не дает нам возможности видеть много глубже внешних границ такого пласта в центре, а на краю диска мы его едва видим и уже после того, как лучи испытают отражение один или несколько раз; поэтому такие спектральные линии слабы у края. Согласно взглядам Хальма, принятым Адамсом, линии от промежуточных уровней находятся под более высоким эффективным давлением у края солнечного диска, чем в его центре, так как всякий луч зрения, проведенный к краю, проделывает относительно более длинный путь в более низких слоях, которые он пронизывает, чем луч зрения, направленный к центру диска в соответствующих слоях. Отсюда более низкие слои промежуточных уровней играют пропорционально бо́льшую роль для спектра элементов на краю, чем в центре солнечного диска.

При господствующих в настоящее время взглядах о чрезвычайно низких давлениях в обращающем слое такие обьяснения причины смещения линий диференциальным влиянием давления должны быть отброшены Общая теория относительности, разработанная Эйнштейном, дала возможность предсказать этот общий сдвиг линий солнечного спектра по направлению к его красному концу, и современные астрономы готовы допустить, что это, хотя бы частично, и является объяснением предыдущего. Однако имеются некоторые противоречия, до сих пор еще удовлетворительно не объясненные.

Почему протуберанцы и хромосфера дают спектры с яркими линиями? Согласно объяснению, которого мы придерживаемся, газы протуберанцев на Солнце находятся в условиях чрезвычайно низкого давления и плотности и не содержат достаточного количества молекул, испускающих радиацию по направлению луча зрения, чтобы дать яркий непрерывный спектр. Но для спектральных линий, представляющих сильное избирательное излучение, их радиация достаточна для того, чтобы выявить их форму.

Долгое время оставалось загадкой, почему кальций появляется в протуберанцах на таком же высоком уровне, как самые легкие газы — водород и гелий. Теперь мы знаем, что не металл кальций, известный нам, а кальций ионизированный, имеющий атомы, лишенные электрона, дает линии H и K в протуберанцах. Следы ионизированного кальция легко возбуждаются для излучения.

О характерных формах и случайных колоссальных скоростях протуберанцев. У многих ученых, рассматривающих протуберанцы как действительные выступающие массы

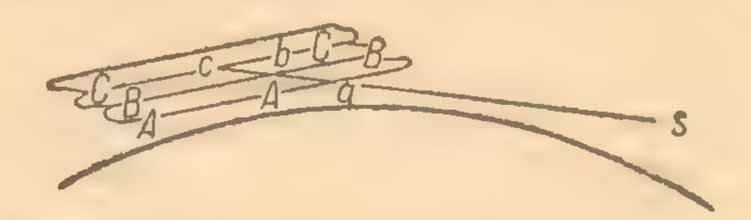


Рис. 80. Движение газов поперек луча зрения.

яркого газа, а не как эффекты миража (по Юлиусу), всегда существовало недоверие как к прямым, так и к спектроскопическим наблюдениям, согласно которым эти газообразные массы извергаются со скоростями порядка 150 *км/сек*. Трудно представить себе на основе только механических законов, как могут возникать такие скорости. При помощи спектроскопа можно наблюдать только движение в протуберанцах, касательное к Солнцу. Михельсон утверждает, что эффект Допплера может быть осложнен движением газов поперек луча зрения, как показано на рис. 80. Допустим, что луч зрения будет *as* и пусть передняя часть движущейся массы газа поднимается из положения *AA* до положений *BB* и *CC*. Изменение оптической плотности линии на *as* перемещается от *a* к *b* и к *c*, производя видимое изменение длины волны, которое тем больше, чем под меньшим углом *AA* располагается к *as*. Фений объясняет этим быстрое видимое изменение длины волны и даже изменение знака.

Что касается кажущихся громадных лучевых скоростей, то мы часто видим клочья перистых облаков, которые распространяются на небе почти мгновенно.

Конечно, это не означает поступательного движения от одного конца клочьев до другого, но скорее поднятие охлаждающей волны, которая вызывает образование облаков почти одновременно по всей своей длине. Юнг и другие утверждают, что отдельные выступы иногда образуются без предварительной связи с солнечной хромосферой. Может быть эруптивные протуберанцы образуются наподобие перистых облаков, благодаря возмущению, исходящему от Солнца и возбуждающему излучение почти одновременно на протяжении больших



Рис. 81. Диаграмма смещения.

масс, ранее несветившихся газов водорода и кальция, находившихся там, где должны появиться эти протуберанцы. Возможно, что допущение электрического возбуждения было бы наиболее правильным. Кажущаяся громадной скорость взрыва может быть объяснена тогда при помощи диаграммы, изображенной на рис. 81. Допустим, что луч зрения направлен по стрелке *I*, что *AB* — фотосфера, а *ab* — область, вдоль которой возникают излучения, начинающиеся в *a* и распространяющиеся почти сразу же до *b*. Более низкий конец *a* теряется в блеске фотосферы, а протуберанец кажется поднимающимся из *c* к *b* в очень короткое время, требующееся для передачи к *b* возбуждающего влияния. Если луч зрения пойдет в направлении стрелки *II*, то протуберанец представится оторванным от солнечного края. Автор не берет на себя смелость настаивать на правильности этого объяснения *.

* Теория Михельсона представляется неправильной. В настоящее время считают наблюдаемые скорости протуберанцев по лучу зрения и выводимые из изменений формы протуберанцев реальными. — *Прим. ред.*

Проф. Прингсхейм (Pringsheim) дал объяснение громадных наблюдаемых скоростей протуберанцев, которое кажется вполне приемлемым. Он ссылается на опыт Штарка (Stark), который нашел допплеровское смещение того же порядка, как смещение, даваемое протуберанцами, при наблюдении так называемых «каналовых лучей», являющихся любопытными электрическими разрядами, получаемыми в разреженном газе при помощи специальных приспособлений. Опыт Штарка показывает, что положительно заряженные атомы, испускающие свет, могут двигаться под действием обычных разностей электрических потенциалов в чрезвычайно разреженных газах со скоростями, наблюдаемыми в протуберанцах. Затем Прингсхейм обращает внимание на тот факт, что комета 1843 г. прошла в перигелии на расстоянии 3—4′ от фотосферы (0,1 солнечного диаметра), не испытав заметного сопротивления окружающей среды. Это доказывает наличие там разрежения крайней степени. Неизвестно, имеются ли по близости от Солнца достаточные изменения электрического потенциала, но те изменения, которые имеют место в земной атмосфере, по подсчетам Прингсхейма, больше чем достаточны для движения электронов в пустоте со скоростями, присущими протуберанцам. Наличие подобных потенциальных градиентов вблизи Солнца не является невероятным.

Юлиус упорно настаивает на объяснении протуберанцев аномальной дисперсией, но это заставляет нас допустить распространение возмущений к видимым вершинам протуберанцев и предположить, что газы на такой громадной высоте достаточно плотны, чтобы произвести заметную аномальную рефракцию.

Что такое корона? Кометы проходят сквозь корону без заметной задержки. Поэтому вещество ее должно быть очень разреженным, независимо от того, будет ли оно чисто газообразным или состоящим частично из метеорной пыли. Так как корона дает в своих внешних частях спектр Фраунгофера, то ее свет должен содержать рассеянный свет фотосферы. Вещество внутренних частей короны должно быть достаточно горячим, благодаря близости к Солнцу для того, чтобы дать

собственное температурное свечение. Форма короны напоминает полярное сияние и заставляет думать, что часть ее света может явиться электрической люминисценцией, как у полярного сияния. Так же, как полярное сияние, корона в своем спектре дает яркие линии. Соотношение рассеяния, температурного свечения и люминисценции в излучении короны неизвестно, но согласно результатам болометрических наблюдений в совокупности это дает почти такое же спектральное распределение для внутренней короны, как и для радиации фотосферы. Это наводит на мысль, что люминисценция и рассеяние вместе преобладают над температурным свечением.

С другой стороны, результаты наблюдений нескольких затмений, полученные представителями Ликской обсерватории, привели к тому, что Кемпбелл, Перрайн и Льюис пришли к совершенно определенному заключению, что внутренняя корона светит главным образом благодаря нагреванию ее частиц за счет поглощения радиации фотосферы. Если не обращать внимания на результаты болометрических наблюдений, этот вывод был бы совершенно приемлемым, и возможно еще окажется, что в них имеются некоторые ошибки, которыми можно объяснить противоречия. Однако условия болометрической работы на о. Флинт были настолько удовлетворительными, а результаты наблюдений настолько согласными, что это кажется мало вероятным. Результаты этой работы почти подтверждены Петтитом (Pettit) и Никольсоном (Nicholson) во время затмения 1925 г.

Объяснение формы и свечение короны, исходя из предположения об ее электрической природе, привлекло большое внимание. Проф. Прингсхейм посвятил много места этому вопросу в своей «Физике Солнца». С другой стороны, проф. Вуд (Wood) пытался объяснить поляризацию и излучение короны влиянием проходящих через сравнительно холодные пары металлов мощных солнечных лучей, возбуждающих в них свечение флюоресценции. При помощи лабораторных опытов над свечением, возбужденным таким образом в парах натрия, калия и иода, проф. Вуд нашел, что процент поляризованного света близок к проценту поляризации

в короне. Он утверждает, что спектр смешанных паров должен быть непрерывным, по крайней мере при слабой дисперсии. Спектр флюоресценции на самом деле состоит из тысячи тонких линий, собранных в группы и полосы, и не напоминает ярких линейчатых спектров тех же самых элементов. Эти линии расположены настолько тесно, что, вероятно, они ускользают от наблюдения по отдельности спектроскопом со слабой дисперсией. Может иметь место флюоресценция любого цвета в зависимости от рода смешиваемых паров и от их количественных соотношений. Вуд считает вполне вероятным, что зеленая линия короны не является яркой линией какого-нибудь неизвестного вещества, а скорее представляет собою до сих пор неоткрытую линию флюоресценции какого-либо хорошо известного элемента.

Шеберле (Schaberle) давно предложил механическую эруптивную теорию формы короны. Он продолжил назад вероятные пути корональных лучей и обнаружил их в центрах извержений на солнечном диске. Его взгляды хорошо соответствуют гипотезе, что яркость короны обусловливается главным образом накаливанием.

Причина изменений формы короны с периодом солнечных пятен неизвестна.

Значение температуры. Следует отметить, что в гипотезах о Солнце, обсуждаемых нами, температура играет наиболее выдающуюся роль. Прежде всего существование облачной фотосферы отрицается, потому что температура фотосферы достигает приблизительно 6 500°, и совершенно невероятно, чтобы в таких условиях могли существовать жидкие или твердые тела. Во-вторых, наличие грануляции рассматривается как доказательство разности температур в излучающем газе — разности, которую естественно ожидать в огромном газовом шаре, излучающем колоссальное количество радиации со своей поверхности, в шаре с известной иррегулярностью вращения, с циклоническими движениями. В-третьих, потемнение по направлению к краю Солнца рассматривается прежде всего как эффект температуры и только уже потом как эффект рассеяния. Благодаря рассеянию, эффективный излучающий слой должен находиться ближе к поверхности, а поэтому он

должен быть холоднее на краю солнечного диска, чем в центре. Мы говорим, что он должен находиться ближе к поверхности потому, что, двигаясь наклонно, луч должен быть ослаблен вследствие рассеяния газа у края солнечного диска, прежде чем он достигнет той же радиальной глубины, какой достиг бы, двигаясь радиально от центра диска. В-четвертых, потемнение на краю будет естественно больше для фиолетовых, чем для красных лучей, во-первых, потому, что для всех раскаленных добела тел понижение температуры вызывает более быстрое падение радиации для коротких лучей, чем для длинных, и, во-вторых, потому, что рассеяние молекулами сильнее для фиолетовых лучей, чем для красных, а значит на краю Солнца эффективный излучающий слой для фиолетовой части будет ближе к поверхности, чем для красной. В-пятых, фраунгоферовы линии рассматриваются не как темные, а как очень яркие (по существу). Они только кажутся темными вследствие сильного избирательного поглощения газов, которые обусловливают их появление; газы почти полностью поглощают свет, идущий сзади них, и наблюдатель видит только сравнительно тонкий и поверхностный слой Солнца, если рассматривает его в свете фраунгоферовых линий. Отсюда следует, что обращающий слой холоднее, а его излучение менее интенсивно, чем излучение фона непрерывного спектра, исходящее из более глубоких слоев Солнца. В-шестых, интенсивность фраунгоферовых линий по отношению к фону спектра несколько уменьшается, при приближении к краю солнечного диска, потому что слой возникновения фраунгоферовых линий настолько тонкий и поверхностный, что его температура почти одинакова — и на краю и в центре солнечного диска; что же касается непрерывного фона спектра, то эффективный излучающий слой быстро приближается к поверхности Солнца, когда мы смотрим ближе к краю, а поэтому излучение уменьшается вследствие более низкой температуры *.

* Благодаря теоретическим исследованиям Шустера, Шварцшильда, Унзёльда и других в настоящее время имеется теория, которая хорошо объясняет поведение фраунгоферовых линий

О солнечных пятнах. Теперь мы проследим значение температуры в объяснении явления солнечных пятен. Согласно наблюдениям Хэла, Эллермана и Сент-Джона на обсерватории на горе Вильсона мы можем рассматривать солнечные пятна, как вихри и, как показано спектроскопическими работами Эвершеда, мы должны заключить, что в области возникновения фраунгоферовых линий движение идет по спирали изнутри пятна наружу. Мы можем представить себе, что эти вихри похожи по своей форме на водяные смерчи, наблюдаемые на море в виде воронкообразно поднимающихся струй. При этом должно произойти сильное охлаждение газов, обусловленное их быстрым расширением при приближении к поверхности Солнца. Это охлаждение (как видно из открытых в спектре солнечных пятен линий обильно присутствующих гидратов кальция и магния, а также окиси титана) понижает температуру приблизительно до 3500°, которая достаточно низка для образования жидких, а может быть и некоторых твердых тел.

Благодаря высоким температурам на Солнце все эти газы, конечно, содержат электрически заряженные ионы, которые, будучи увлечены быстрым потоком вихря, производят, как показано Роуландом, эффект электрических токов. Эти токи возбуждают магнитное поле, которое Хэл и обнаружил в солнечных пятнах. Мы принимаем, что вершина вихря почти соответствует по своему уровню верхней границе области образования фраунгоферовых линий. Охлажденное вещество расходится оттуда на некоторое расстояние по спиралям, радиус которых так быстро увеличивается, что спирали становятся почти радиальными к ядру. Так как затем вещество больше не поднимается и не расширяется, то оно начинает нагреваться благодаря соприкосновению с горячим окружающим пространством. Стержень

в различных частях солнечного диска. Эта теория предполагает рассеивание света фотосферы атомами обращающего слоя, коэфициент рассеяния сильно возрастает вблизи спектральных линий, излучаемых атомами, благодаря чему и видны фраунгоферовы линии в форме темных линий в спектре фотосферы. — *Прим. ред.*

вихря — это ядро солнечного пятна, а растекающаяся вершина — полутень.

Особенности спектра солнечных пятен и причины этих особенностей были подробно рассмотрены в гл. V. Мы можем суммировать их как особенности, связанные, во-первых, с понижением температуры по сравнению с фотосферой и, во-вторых, с действием сильных магнитных полей. Хэл и Адамс показали, что спектр солнечного пятна того же типа, как спектр красных звезд. Что касается характеристики, для которой приводится это сравнение, то с тех пор как мы знаем, что спектр солнечного пятна получается в результате простого охлаждения вещества фотосферы, это соотношение весьма знаменательно; оно отчетливо показывает одну ступень в процессе звездной эволюции. Мы к этому вернемся в гл. X.

Мы отметили, в частности, удивительное поведение водорода и подчеркнутых линий в солнечных пятнах. Все они ослаблены по сравнению со спектром фотосферы, а линии с короткой длиной волны ослаблены сильнее других. Дуговые линии элементов обычно усилены в пятнах. Детали этих изменений для различных элементов хорошо согласуются с современной теорией «состояний» в зависимости от «потенциалов ионизации или возбуждения». Некоторые элементы в солнечных пятнах обнаруживают значительное усиление их дуговых линий при небольшом ослаблении подчеркнутых линий. Они легко возбуждаются благодаря низким потенциалам ионизации *. Находясь в условиях высокой ионизации при обычных температурах обращающего слоя, вряд ли какие-либо из атомов остаются в нейтральном состоя-

* Под потенциалом ионизации подразумевают величину той энергии, которую необходимо приложить к атому, чтобы отнять от него электрон, т. е. чтобы ионизировать атом. Под потенциалом возбуждения подразумевают соответственно величину той энергии, при которой электрон будет удален от атома на какую-либо внешнюю орбиту со своей нормальной; падая обратно на последнюю, он излучит определенную спектральную линию. Такому атому какого-либо элемента соответствует один потенциал ионизации и ряд потенциалов возбуждения для разных спектральных серий. — *Прим. ред.*

17 Зак. 3638. Аббот

нии. Хотя температура обращающего слоя над солнечными пятнами почти на 2 000° ниже, тем не менее они сильно ионизированы, но их нейтральные атомы, прежде очень редкие, становятся многочисленными. Поэтому дуговые линии, обязанные своим происхождением нейтральным атомам, значительно усиливаются, но доля атомов, дающая подчеркнутые линии, все еще велика, и эти линии ослабевают мало заметно. С другой стороны, для элементов, подчеркнутые линии которых требуют сильного возбуждения, как, например, серии линий водорода и многих других элементов, понижения температуры над солнечным пятном достаточно, чтобы значительно уменьшить долю атомов, находящихся в возбужденном состоянии; поэтому их подчеркнутые линии сильно ослаблены.

В центре вихря солнечного пятна замечается тенденция к образованию пустоты. В это разреженное пространство втягивается лежащий сверху водород высокого уровня хромосферы и протуберанцев. Происходит направленное внутрь радиальное движение этого газа, показанное спектрогелиограммами в линии Hα, полученными на обсерватории на горе Вильсона. Между уровнем Hα газа, который втягивается внутрь, и уровнем фраунгоферовых линий газов, которые выходят наружу, должна находиться область покоя. Поэтому водород нижнего уровня и спектрогелиограммы кальция H_1 и H_2 обнаруживают лишь слабо или совершенно не обнаруживают струй потоков или других признаков движения потока. Неудачу Адамса в попытках открыть разности в давлении обращающего слоя над солнечным пятном можно рассматривать как подтверждение поверхностного характера обращающего слоя и отсутствия достаточного повышения или понижения в общем уровне солнечного пятна.

Что касается причины образования солнечных пятен, то Бьеркнес показал, исходя из принципов гидродинамики, что, в результате комбинированного влияния вращения Солнца, внешнего охлаждения (вследствие излучения поднимающегося изнутри тепла), слоистой структуры (благодаря неодинаковым атомным весам вещества Солнца) и трению смежных слоев, может воз-

никнуть общая солнечная циркуляция, изображенная на рис 82. Здесь мы видим диаграмму разреза полушария Солнца. Так как она представляет некоторую часть от полюса до полюса, мы понимаем, что она указывает на течение потоков в непрерывных сферических поясах от экватора к полюсам, и обратно. Подобные же вихревые потоки имеются и в земной атмосфере. Для большей ясности на диаграмме преувеличена толщина наложенных друг на друга слоев. Движение потоков передается за их пределы вследствие трения. На тот случай, если читатель задаст вопрос, почему эффекты вращения и охлаждения не требуют, чтобы все слои одного полушария текли в одном направлении. Бьеркнес указывает, что при радиально распределенных влияниях, как на Солнце, направление потоков может принять любое направление. Но уже начавшись, оно продолжается без перемены.

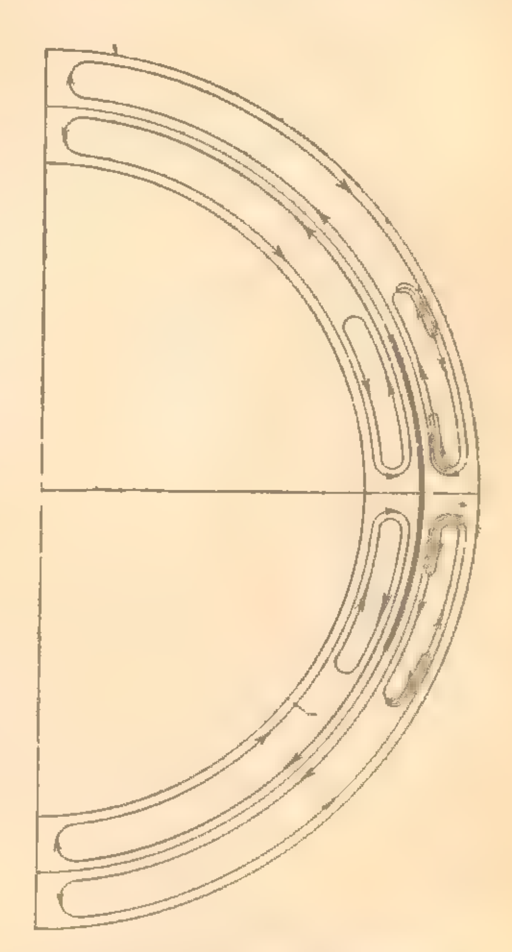


Рис. 82. Общая циркуляция на Солнце по Бьеркнесу.

Бьеркнес допускает существование двух второстепенных меньших вихрей противоположных знаков, плавающих во внешнем вихревом поясе каждого полушария, что также указано на рис. 59. Полный период их оборотов принимается в 22 года, так что для последовательных периодов по 11 лет, сначала один, а потом второй бывает ближе к поверхности. Эти вторичные вихри располагаются, в действительности, замкнутыми поясами, почти параллельными экватору Солнца и обычно глубже видимой его поверхности. Временами петли этих вихревых поясов поднимаются и выходят на поверхность, тем самым образуя два

вихря противоположных полярностей. Так получается пара солнечных пятен, одно из которых может быть настолько расплывчатым, что будет плохо различимо. Бьеркнес признает искусственность этой гипотезы считая ее лишь первой наметкой, но наметкой, основанной на верных гидродинамических принципах, и дающей возможность объяснения многих загадочных явлений, связанных с солнечными пятнами. На основе известных условий, существующих внутри Солнца, эта гипотеза поддерживается астрономами, как многообещающая.

Откуда пополняется солнечная энергия? Теперь перед нами встает самая главная проблема: что поддерживает температуру Солнца, несмотря на колоссальные потери вследствие излучения? Цифры этих потерь поразительны. На расстоянии 145 000 000 *км* средняя радиация равна приблизительно 2 калориям на 1 *см*² в минуту. Отсюда следует, что общее излучение Солнца равно приблизительно:

$$2 \cdot 4 \cdot \frac{22}{7} \cdot (14\,500\,000\,000\,000)^2 \text{ калориям в минуту!}$$

Обычное горение угля происходит вследствие соединения углерода и кислорода. За исключением солнечных пятен на Солнце не происходит никаких соединений. На нем настолько жарко, что большинство сложных веществ распадается на свои элементы вместо того, чтобы элементы соединялись с развитием теплоты Если бы на Солнце не происходило непрерывного образования тепла и оно охлаждалось подобно куску металла, лежащего на наковальне кузнеца, то понижение земной температуры было бы заметно уже с исторических времен.

При изучении ископаемых растений и животных была установлена грубая шкала температур, которая, как допускают палеонтологи, показывает, что температура Земли не изменилась больше нескольких десятков градусов со времен отложений самых древних ископаемых. Это представляет собой колоссальную последовательность лет, по сравнению с которой историческое время является «маленькой пылинкой на весах». Доказа-

тельства даже приводят к тому выводу, что в кембрийский период, самый ранний из представленных до сих пор богатыми коллекциями ископаемых, климат на Земле был более мягким и ровным, чем в настоящее время.

В наше время температура Земли почти целиком поддерживается притоком солнечной радиации и нет оснований полагать, что какой-либо другой значительный источник, кроме солнечных лучей, когда-либо способствовал нагреванию Земли с тех пор, как на ней возникла жизнь. Поэтому существование растений и животных на Земле в давние геологические периоды считается хорошим доказательством того, что тогда Солнце было почти таким же лучезарным, как и теперь. Это поставило проблему об отыскании достаточно мощного источника солнечной энергии.

В 1853 г. Гельмгольц высказал предположение относительно источника пополнения солнечной энергии, большое значение которого общепризнано. Он обратил внимание на тот факт, что сжатие Солнца преобразует потенциальную энергию в теплоту, точно так же, как падающий камень превращает в конце концов свою потенциальную энергию в теплоту. Несколько ученых вычислило количество энергии, которое должно получиться от этого источника. Их результаты обычно основывались на предположении, что Солнце прежде было первобытной туманностью, заполнявшей сферу с диаметром, равным орбите Нептуна. Конденсация такой туманности, имеющей массу Солнца, дала бы энергии примерно в 25 000 000 раз больше, чем теперь ежегодно теряет Солнце (эта цифра основана на «солнечной постоянной» в 2,0 калорий на 1 *см*^{2} в минуту).

Согласно взглядам Гельмгольца сжатие диаметра Солнца приблизительно на 75 *м* в год было бы достаточно для поддержания теперешней солнечной радиации. При такой скорости потребовалось бы около 10 000 лет для уменьшения видимого диаметра Солнца на одну секунду дуги; поэтому, что касается телескопических наблюдений, теория сжатия остается в силе, так как изменение диаметра Солнца на 0′,1 неуловимо. По вычислению Ньюкома потребуется еще около 7 000 000 лет для того, чтобы Солнце сжалось до поло-

вины своей настоящей величины при условии сохранения такой же, как теперь, скорости излучения. Так как сжатие не может продолжаться неопределенно долго и образование тепла по этой причине не может быть бесконечным, то с этой точки зрения мы должны рассматривать продолжительность жизни, зависящей от солнечных лучей, как имевшую начало в далеком прошлом и стремящуюся к концу в далеком будущем

За последние годы возникло много споров о том, достаточна ли гипотеза Гельмгольца о пополнении солнечной энергии для объяснения продолжительности жизни на Земле, установленной геологическими открытиями. Жоли (Joly), путем сравнения объема океана и содержания в нем солей со скоростью течения и соленостью рек, оценил геологический возраст Земли приблизительно в 80 000 000 лет. Впоследствии Г. Ф. Беккер (G. F. Becker) повторил вычисления, допустив более быстрое выделение соли в более ранние периоды, и получил около 50 000 000 лет. С другой стороны, многие геологи считают, что толща пластов земных осадочных пород заставляет нас принять цифру бо́льшую 100 000 000 лет.

Доводы с точки зрения органической эволюции показывают, что жизнь на Земле возникла значительно раньше. Исследования Валкотта (Walcott) кембрийской и докембрийской ископаемой фауны ясно показывают, что в самые ранние века, в которые образовались найденные теперь ископаемые, формы жизни уже достигали большой сложности. Зоологам приходится думать, что продолжительность докембрийского периода, необходимого для развития от простой клеточки до трилобита, была гораздо больше, чем продолжительность всего последующего периода. Так как древность кембрийской эры превышает сотню миллионов лет, то это показывает, что возраст Земли, годной для жизни, исчисляется биллионами лет.

Физика также поддерживает этот взгляд о колоссальном возрасте Земли. Когда было обнаружено, что уран, торий и радий непрерывно распадаются с выделением гелия со скоростью, которая не может быть ни увеличена, ни замедлена, и что конечным продуктом

является свинец, были найдены естественные часы для оценки возраста Земли.

В то время как обыкновенный свинец имеет атомный вес приблизительно 207, свинец, образованный из урана и тория, имеет атомный вес соответственно 206 и 208, потому что ядра его атомов отличаются числом положительных протонов. Это ни в какой степени не изменяет химических свойств разновидностей свинца, потому что не строение атомных ядер, а число и распределение электронов в орбитах меняет химическое поведение элемента. Все разновидности свинца видимо тождественны в отношении их химических свойств. Многочисленные другие химические элементы, в том числе, например, хлор, также имеют атомы неодинакового веса, но одинаковых химических свойств.

Однако, если свинец с атомным весом 206 находится вместе с рудами урана, представляется весьма вероятным, что он образовался вследствие распада урана. Изучение этими и аналогичными ему путями более низких, докембрийских горных пород из различных мест земной коры привело, при хорошем согласии, к значению 1 400 000 000 лет для возраста земной коры.

Из опасения, что эта оценка возраста Земли может показаться некоторым читателям слишком гипотетической, следует привести еще другое доказательство, не имеющее отношения к Земле, а относящееся к звездам, которые, как хорошо известно, являются не чем иным, как другими солнцами.

Среди звезд могущественные телескопы обнаруживают много спиральных туманностей, из которых единственной видимой для невооруженного глаза является большая туманность в созвездии Андромеды. Хэббл (Hubble), производя наблюдения со 100-дюймовым рефлектором обсерватории на горе Вильсона, смог сфотографировать в этой и в других спиральных туманностях многочисленные слабые звезды, которые при наблюдении в обычные телескопы лежат настолько близко одна к другой, что они приобретают сходство с облаком, похожим на то, каким Млечный Путь представляется невооруженному глазу. Среди этих недавно открытых звезд есть некоторое количество перемен-

ных звезд типа, называемого цефеидами. Эти звезды, из которых многие известны в пределах измеримых расстояний, имеют правильные периоды изменений яркости. Шапли (Shapley) показал, что если известен период, то известна и абсолютная яркость *.

Имея такую характеристику для сравнения с их видимой яркостью, Хэббл обнаружил, что не только в туманности Андромеды, но и в некоторых других спиральных туманностях звезды находятся на расстоянии, для прохождения которого свету требуется при скорости распространения в 300 000 *км/сек* около одного миллиона лет. Начав с этого и перейдя к спиральным туманностям меньшего размера и более слабым, Хэббл смог показать, что свет, при помощи которого некоторые из них были сфотографированы в настоящее время, начал свой путь к нам несколько сот миллионов лет назад. Поэтому эти звезды уже ярко светились сотни миллионов лет назад. Если они столь древние, то почему не таково же наше Солнце?

При таких цифрах даже гипотеза Гельмгольца далеко не достаточна для объяснения источника солнечной энергии. Но новейшие успехи физики атома, кажется, дает нам необходимый ключ. Как уже говорилось, атомы всех химических элементов состоят из равных и противоположных элементарных положительных и отрицательных электрических зарядов, обычно называемых соответственно протонами и электронами. Эти элементарные заряды существуют раздельно. Таким образом вся материя рассматривается просто как пассивное или потенциальное состояние энергии. Поэтому атомы являются резервуарами обширных запасов энергии, которые были бы освобождены в активные формы радиации и теплоты, если бы относительные движения протонов и электронов прекратились. Это произошло бы, если каким-нибудь образом силы, отделяющие их, были бы превзойдены и противоположные электриче-

* Под абсолютной яркостью (величиной) звезды подразумевают ту яркость, которой будут обладать эти звезды, отнесенные на расстояние, соответствующее параллаксу в 0″,1, т. е находящаяся от нас на расстоянии 32,5 световых лет — *Прим. ред.*

ства соединились вместе, уничтожая атомы. Предполагают, что при условиях колоссальных давлений и температур, господствующих в центральных частях Солнца и звезд, оказывается возможным столкновение атомных структур друг с другом, заставляющие протоны и электроны преобразоваться в энергию излучения за счет полного разрушения атома. Вычислено, что этот источник солнечной энергии достаточен не только для биллионов, но и для триллионов лет.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

СОЛНЦЕ КАК ИСТОЧНИК ТЕПЛА ДЛЯ ЗЕМЛИ

Причины низких температур на больших высотах. — Измерение интенсивности солнечных лучей. — Зависимость количества солнечной радиации от толщи воздуха. — Прозрачность атмосферы. — «Солнечная постоянная». — Свет неба. — Зависимость температуры на Земле от радиации Солнца. — Колебания солнечного излучения. — Климаты геологического прошлого.

Причины низких температур на больших высотах

Почти все тепло на земной поверхности происходит непосредственно от солнечных лучей. Тепло от угля и дров, энергия движения воды и ветра, которые могут быть преобразованы в тепло, косвенным образом представляют собой в конечном счете эффекты солнечных лучей, настоящего или прошлого времени.

Встречаются люди, которые отрицают, что Солнце горячо. Почти неизменно приковывает к себе внимание тот факт, что при восхождении на горы, или при поднятии на воздушном шаре, температура падает. И хотя мы в действительности здесь приближаемся к Солнцу, тепловой эффект солнечных лучей несомненно становится слабее. Правда, поднятие, доступное человеку, совершенно неощутимо в сравнении с радиусом земной орбиты и поэтому никакого изменения солнечной радиации не должно бы чувствоваться от такого приближения к Солнцу при подъеме на гору. Но интенсивность солнечных лучей значительно возрастает по мере поднятия над нижней пыльной частью атмосферы. Поэтому простительно удивление перед фактом падения температуры на больших высотах, идущим в разрез с возрастанием прямой солнечной радиации.

Секрет этого парадокса состоит в том, что солнечные лучи греют только те предметы, которые поглощают

эти лучи. Предметы в высокой степени прозрачные, как стекло и воздух, становятся при их освещении лишь слегка теплее, — лучи проходят сквозь них почти без изменения. Поглощающие вещества, как ламповая копоть, наоборот, почти полностью перехватывают все лучи и обращают их энергию в теплоту. У поверхности Земли воздух находится в соприкосновении с такой поглощающей поверхностью — с почвой и нагревается через соприкосновение с ней. На больших высотах свободный воздух не имеет соприкосновения с поглощающей поверхностью, которая нагревала бы его, и так как он пропускает лучи весьма свободно, то лишь малое количество тепла он получит непосредственно от этих лучей. Более того, он содержит озон, углекислый газ и водяные пары, которые свободно испускают лучи большой длины и тем рассеивают в пространство приобретенное тепло. Следовательно, верхний воздух холоден и охлаждает все, с чем он соприкасается. Его охлаждающее действие на поверхность гор усиливается господствующими на высотах ветрами.

Восходящие токи слабо нагревают верхние слои воздуха вследствие быстрого уменьшения плотности атмосферы с возрастанием высоты. Токи воздуха, которые поднимаются от нагретой поверхности Земли, при поднятии расширяются, а при расширении они становятся холоднее Значительным фактором, обусловливающим более низкую температуру внутренних плоскогорий, подобных Тибетскому плато, является сравнительная бедность воздуха водяным паром. Вода, испаряющаяся с Индийского океана, едва ли может достигнуть Тибетского плато, потому что при поднятии в свободном воздухе на столь большие высоты, она настолько сильно охлаждается, что неизбежно почти полностью выпадает в виде осадков. Водяной пар, казалось бы, почти прозрачный для света, в действительности пропускает до 85% всех посылаемых Солнцем лучей; он является могучим поглотителем лучей большой длины волны, которые испускаются сравнительно холодным, подобным Земле, телом. Отсюда на малых высотах, где воздух богат водяным паром,

он представляет значительное препятствие для рассеяния излучения Земли в мировое пространство. При сравнительно малом содержании водяного пара в воздухе, находящемся над внутренними областями обширных континентов, охлаждение почвы путем излучения в пространство идет значительно скорее, чем на уровне моря, и следовательно, там господствуют более низкие температуры. В случае крутых и обрывистых гор наблюдается более низкая температура, так как такой рельеф уменьшает количество получаемой от Солнца радиации на единицу поверхности, в то время как поверхность, подверженная охлаждающему действию ветра, увеличивается.

Мы можем, следовательно, низкую температуру свободных верхних масс воздуха приписать их прозрач

Лучи, которые Солнце в таком изобилии посылает на Землю, обычно рассматриваются как лучи трех родов: актиничные или химические лучи, свет или видимые лучи, теплота или лучи невидимые. Это различие, как теперь известно, приходится признать искусственным: лучи, которые действуют на современную фотографическую пластинку, простираются вдоль спектра, начинаясь далеко за пределами крайних ультрафиолетовых лучей и кончаясь далеко за пределами красных, а лучи, которые могут дать теплоту, включают не только все эти лучи, но еще и гораздо более далекие — за красным концом спектра. Все лучи могут быть полностью преобразованы в теплоту, хотя их действие различно на глаз и на разные химические вещества. Все лучи движутся с одинаковой скоростью в пустом простран

стве, и эта скорость составляет около 300 000 км/сек Лучи, идущие с такой скоростью, не являются чем-материальным *, они лишь волны, подобные, в некот ром отношении, волнам, распространяющимся по во или вдоль натянутой веревки.

Длина волны или число полных волн, проходящи за одну секунду, отличает красный свет от голубог Длина волны видимого света изменяется от 0,0004 м для фиолетового до 0,0007 мм для красного; числ колебаний в секунду соответственно — от 750 000 0 до 430 000 000. При помощи фотографии были о крыты лучи с длиной волны 0,0001 мм и с частото 3 000 000 000 000 000, а при помощи тонких аппарато измеряющих теплоту, обнаружены лучи с длиной во ны 0,31 мм и с частотой 1 000 000 000 000. Все они, а м жет быть и еще более широкий диапазон волн, в роятно, содержатся в пучке солнечных лучей, каки он посылается Солнцем, но наша собственная атм сфера препятствует как более коротким, так и наибо лее длинным из них достигнуть земной поверхност

Так как от этих лучей Солнца зависит приток теп света, сила и рост всего живого на Земле, то измер ние полной их интенсивности и определение все многообразия, присущих им свойств, представля первостепенный интерес и значение.

Мы измеряем интенсивность солнечной радиации по тому нагреванию, которое она производит, будучи по ностью поглощена поверхностью, перпендикулярн к падающим лучам. Удобной единицей для измерен солнечного нагревания является калория на квадра ный сантиметр в минуту (см. гл. II). Максимум ин тенсивности солнечной радиации по измерениям уровне моря в Вашингтоне, при зенитном расстояни Солнца не более 45°, обычно колеблется между 1,15 1,45 калорий на 1 $см^2$ в минуту для безоблачных дне смотря по чистоте и сухости воздуха. На горе Вил сона в Калифорнии на высоте около полутора кил метров над уровнем моря наблюденные значения к

* Здесь ясно сказалась идеалистическая установка авто сомневающегося в материальности световых лучей. — *Прим. ре*

леблются между 1,45 и 1,62 калорий на 1 *см*², а на горе Уитнея в Калифорнии на высоте около пяти километров наблюденное значение достигает 1,75 калорий на 1 *см*².

На рис. 83 изображен ход интенсивности солнечных лучей на горе Вильсона после полудня 6 июля 1910 г.

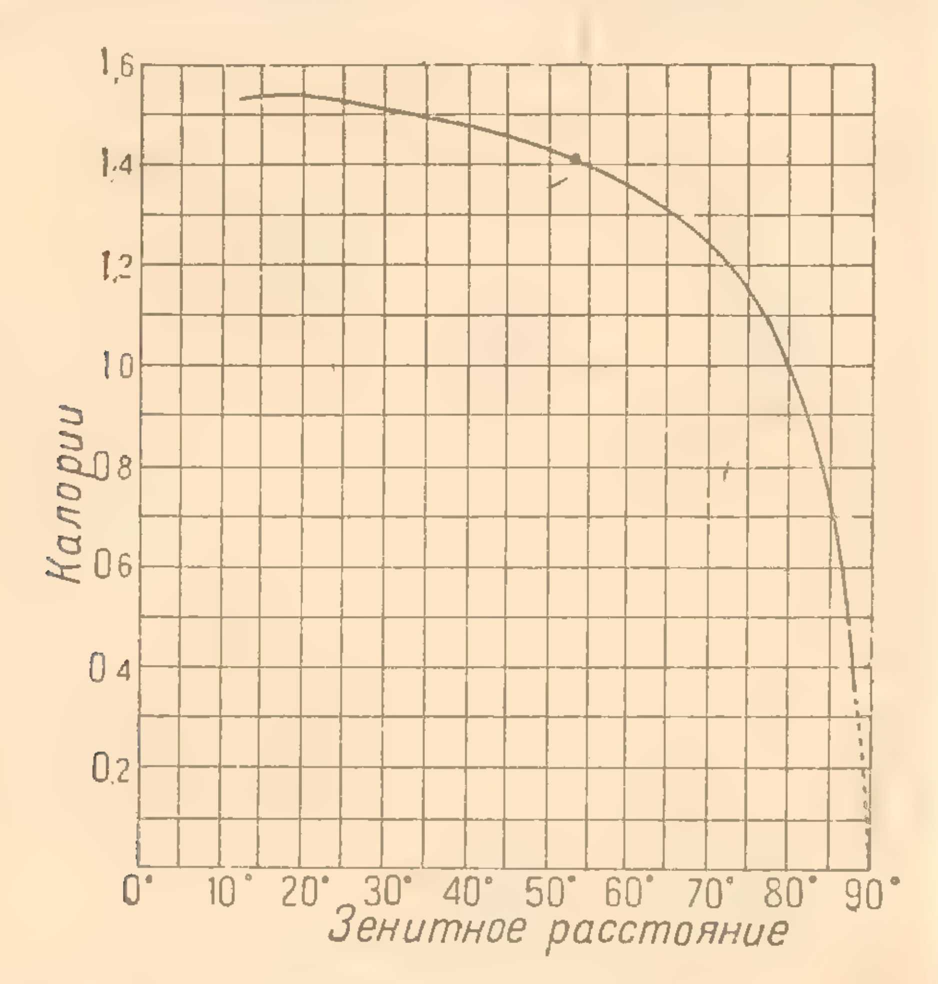


Рис. 83. Ход интенсивиости солнечных лучей на горе Вильсона.

По горизонтальному направлению отложено зенитное расстояние, по вертикальному отложены калории на 1 *см*² в минуту. Причиной наблюденного уменьшения интенсивности при наименьших зенитных расстояниях было увеличение влажности вследствие поднявшегося около 11 час. ветра с моря. Отдельные наблюдения приведены в табл. 17.

В табл. 18 дано приведенное ранее разделение солнечных лучей на группы для того, чтобы обратить

Таблица 17

Наблюденная интенсивность солнечной радиации

(гора Вильсона, в июле 1910 г.)

Зенитное расстояние [1]	11°36′	18°14′	27°11′	38°42′	50°3′	58°5′	63°35′	68°50′	75°35′
Калорий на 1 $см^2$ в минуту	1,510	1,527	1,513	1,475	1,431	1,380	1,333	1,261	1,143
Зенитное расстояние [1]	76°22′	79°4′	79°51′	80°36′	81°23′	82°7′	82°54′	83°38′	84°23′
Калорий на 1 $см^2$ в минуту	1,121	1,034	1,005	0,972	0,938	0,906	0,862	0,837	0,779
Зенитное расстояние [1]	85°8′	85°45′	85°56′	86°29′	86°40′	87°11′	87°22′	87°54′	88°4′
Калорий на 1 $см^2$ в минуту	0,719	0,659	0,659	0,598	0,608	0,537	0,531	0,449	0,345

[1] Исправленное за атмосферную рефракцию.

Таблица 18

Интенсивность солнечной радиации в различных частях спектра

Длины волн в микронах	Гора Уитнея					Гора Вильсона				Вашингтон			
	$m=0$	1	2	3	4	$m=1$	2	3	4	$m=1$	2	3	4
0,00—0,45	0,304	0,250	0,206	0,165	0,127	0,234	0,165	0,121	0,092	0,127	0,060	0,038	0,025
0,45—0,70	0,726	0,666	0,615	0,570	0,526	0,647	0,570	0,507	0,450	0,532	0,403	0,298	0,238
0,70—∞	0,897	0,812	0,767	0,726	0,688	0,694	0,685	0,656	0,631	0,688	0,618	0,567	0,526
0,00—∞	0,927	1,728	1,588	1,461	1,341	1,575	1,420	1,284	1,173	1,347	1,081	0,903	0,789

внимание на количества солнечной радиации, приходящиеся на области: 1 — где обыкновенная фотографическая пластинка оказывается наиболее чувствительной, 2 — где наиболее чувствителен глаз и 3 — в инфракрасной части спектра. Эти данные приведены для луча вне земной атмосферы и для луча, достигающего гору Вильсона и Вашингтон при различных зенитных расстояниях. Числа выражают радиацию, в пределах этих областей длин волн, в калориях на 1 *см*² в минуту. Выбранные зенитные расстояния суть следующие: 0°, 60°, 70°32′ и 75°32′, для которых «масса воздуха»* представляется числами $m = 1, 2, 3$ и 4.

Зависимость солнечной радиации от толщины воздуха

Уменьшение интенсивности прямого солнечного луча в зависимости от уменьшения высоты станции наблюдений не может быть выражено удовлетворительно. Для низших слоев воздуха содержание твердых пылинок и водяного пара меняется и качественно и количественно от часа к часу и ото дня ко дню Короче говоря, изменение солнечного луча в нижних слоях атмосферы не идет по какому-либо неизменному закону, связывающему его с барометрическим давлением.

Что касается изменения интенсивности прямого солнечного луча для различных зенитных расстояний Солнца, то оно может быть выражено показательной формулой Бугэ: $E = E_0 a^{\sec z}$, как указано в гл. II, предполагая, что мы имеем дело с однородным лучом (т. е с лучами, практически имеющими одинаковую длину волны), наблюдаемым на какой-либо определенной станции в течение ясного дня. Вообразим, что атмосфера состоит из большого числа слоев, концентрич-

* Масса воздуха есть отношение длины пути солнечных лучей в атмосфере к соответствующей длине, когда Солнце стоит вертикально над головой. Это отношение почти точно выражается секансом зенитного расстояния при зенитных расстояниях меньше 75°.

ных Земле, такой толщины, что они дают одинаковое приращение барометрического давления. В этом случае каждый вышележащий слой будет пропускать к следующему слою, лежащему ниже, одну и ту же долю интенсивности падающих на него однородных лучей. Когда лучи достигают слоя, находящегося на высоте 2—3 *км* над уровнем моря, то проходящая доля их постепенно уменьшается от слоя к слою, благодаря возрастанию числа твердых пылинок, имеющихся в нижних слоях атмосферы.

Полная толща атмосферы, которую нужно рассматривать как толщу, влияющую на солнечную радиацию, меньше 150 *км*, и по сравнению с радиусом Земли, она настолько мала, что слои можно рассматривать как параллельные, за исключением лишь того случая, когда лучи входят в атмосферу при больших зенитных расстояниях. При таких расчетах атмосферной рефракцией, несомненно, можно пренебречь для зенитных расстояний, не превышающих 75°. Поэтому мы можем принять, что для зенитных расстояний, меньших 75°, отношение длины пути луча в каждом слое к толщине самого слоя есть величина постоянная, равная секансу зенитного расстояния. При таких ограничениях (см. гл. II) показательная формула Бутэ служит для определения интенсивности монохроматического луча при различных зенитных расстояниях, даже несмотря на то, что мы не знаем изменения прозрачности атмосферы от слоя к слою. При поднятии Солнца все выше и выше над горизонтом толщина каждого слоя изменяется в одном и том же отношении. При таком представлении мы можем пойти еще дальше и вообразить, что, когда Солнце в зените, толщина всех слоев продолжает уменьшаться, попрежнему в одинаковых отношениях, пока совсем не останется воздуха. Иными словами, мы можем, после того как секанс достигнет своей наименьшей величины — единицы, — заменить другой функцией количество воздуха в каждом слое; эту функцию мы вообразим убывающей в одинаковом отношении для всех слоев, пока совсем не останется атмосферы. Таким способом мы можем рассчитать интенсивность на-

18 Зак. 3638. Аббот

шего монохроматического луча, которую он имел бы вне земной атмосферы.

Величина a, входящая в формулу, представляет собой ту долю интенсивности луча вне земной атмосферы, которую сохраняет этот луч, когда достигает наблюдателя, находящегося у поверхности Земли. Эта величина называется коэфициентом прозрачности атмосферы. Коэфициент прозрачности изменяется с высотой наблюдателя и с ясностью неба. Он различен для лучей различных цветов и вообще возрастает при переходе от коротких волн к длинным. Имеются, однако, некоторые лучи, которые претерпевают сильное избирательное поглощение в газах и в парах земной атмосферы; для таких лучей коэфициент прозрачности чрезвычайно мал. Полосы поглощения играют весьма значительную роль в красной и инфракрасной частях спектра, где найдены главным образом полосы кислорода, водяных паров и углекислоты. Присутствие полос хорошо видно из прилагаемой кривой на рис. 84, который дает два последовательных наблюдения на горе Вильсона, произведенных болометром для относительной интенсивности лучей солнечного спектра, полученного флинтглассовой призмой в 60°. В местах, отмеченных звездочками (*), солнечные лучи были закрыты для получения начальной линии, т. е. нуля для отсчета радиации; в местах, отмеченных крестиками (†), солнечные лучи были изменены в интенсивности так, чтобы уместить кривую в пределах рисунка.

Высота точек кривой над начальной линией пропорциональна энергии лучей спектра. Длина пропорциональна отклонению призмы. Фраунгоферовы линии отмечаются зигзагообразными впадинами кривой. Наиболее выдающиеся фраунгоферовы линии обозначены буквами. Эта кривая энергии или болограмма была получена на горе Вильсона; она входит в серию, состоящую из шести таких кривых, полученных при различных зенитных расстояниях Солнца в один и тот же день до полудня. Кривые предназначались для того, чтобы определить прозрачность атмосферы во всех частях спектра. Из таких наблюдений вычислено распределение солнечной радиации, каково оно должно

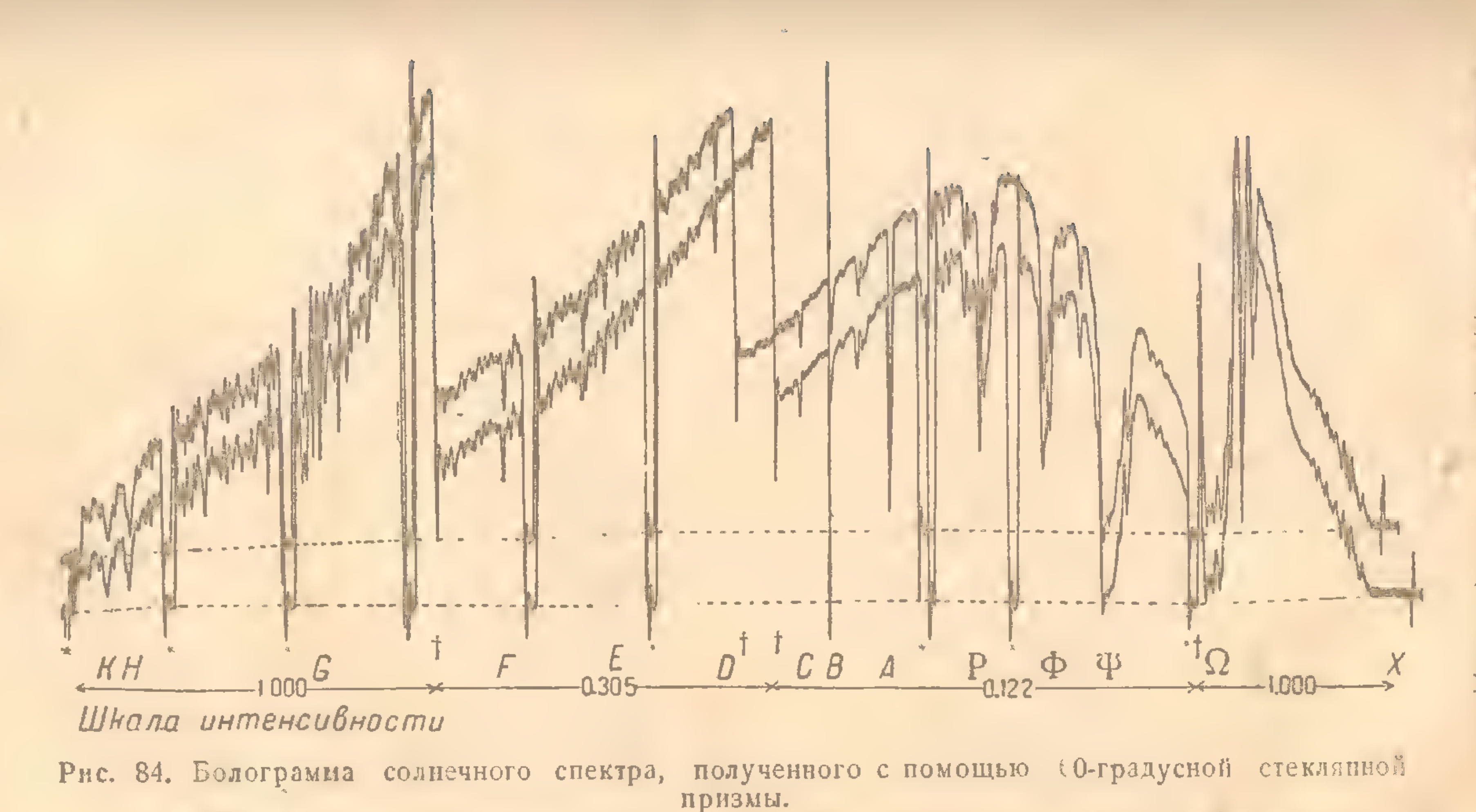


Рис. 84. Болограмма солнечного спектра, полученного с помощью 60-градусной стеклянной призмы.

* — вставлена заслонка для получения нуля по ординатам, † — места изменения шкалы интенсивности.

быть вне нашей атмосферы. В гл. III мы изучили значение подобной работы с точки зрения вопроса о температуре Солнца.

Мы не можем определить интенсивности лучей Солнца вне атмосферы, если прозрачность воздуха сильно меняется в продолжение нескольких часов, необходимых для получения полной серии болограмм. К счастью, существует следующий критерий для суждения о качестве данного дня: при вычислениях логарифмы высот кривой над нулевой линией (т. е. логарифмы интенсивностей радиации данной длины волны) откладываются на графике в зависимости от зенитного расстояния. Точки должны расположиться по прямой линии. Рис. 85 показывает, какое хорошее совпадение дает это испытание для условий, господствующих на горе Вильсона. Тангенс угла наклона каждой линии дает логарифм прозрачности в вертикале Солнца, который мы обозначали через a. Значение a для данной длины волны для горы Вильсона, конечно, больше, чем для Вашингтона. Деля средние значения, полученные для Вашингтона, на средние значения для горы Вильсона, получим среднюю прозрачность километра воздуха близ уровня моря, т. е. над Вашингтоном. В нижеследующих таблицах мы увидим, что потеря интенсивности при прохождении этого последнего километра воздуха почти такая же, как полная потеря над горой Вильсона.

Формула Бугэ не вполне применима к пиргелиометрическим измерениям полной (т. е. суммарной для лучей всех длин волн) радиации Солнца. Она ошибочна, так как лучи претерпевают в атмосфере неодинаковое поглощение; некоторые из них поглощаются почти полностью верхними слоями воздуха, благодаря действию водяных паров и других избирательных поглотителей. Поэтому для этих лучей интенсивность у земной поверхности лишь слабо меняется с зенитным расстоянием. Тем не менее показательная формула приближенно сохраняет силу и для полной радиации, за исключением того обстоятельства, что логарифмические кривые, подобные изображенным на рис. 85, слегка изогнуты. Если эти логарифмические

кривые прямолинейно продолжить до толщины атмосферы, равной нулю, то они дадут значение интенсивности ниже действительной интенсивности вне земной атмосферы, полученной по спектральным наблюдениям. Пулье, однако, определил коэффициент прозрачности

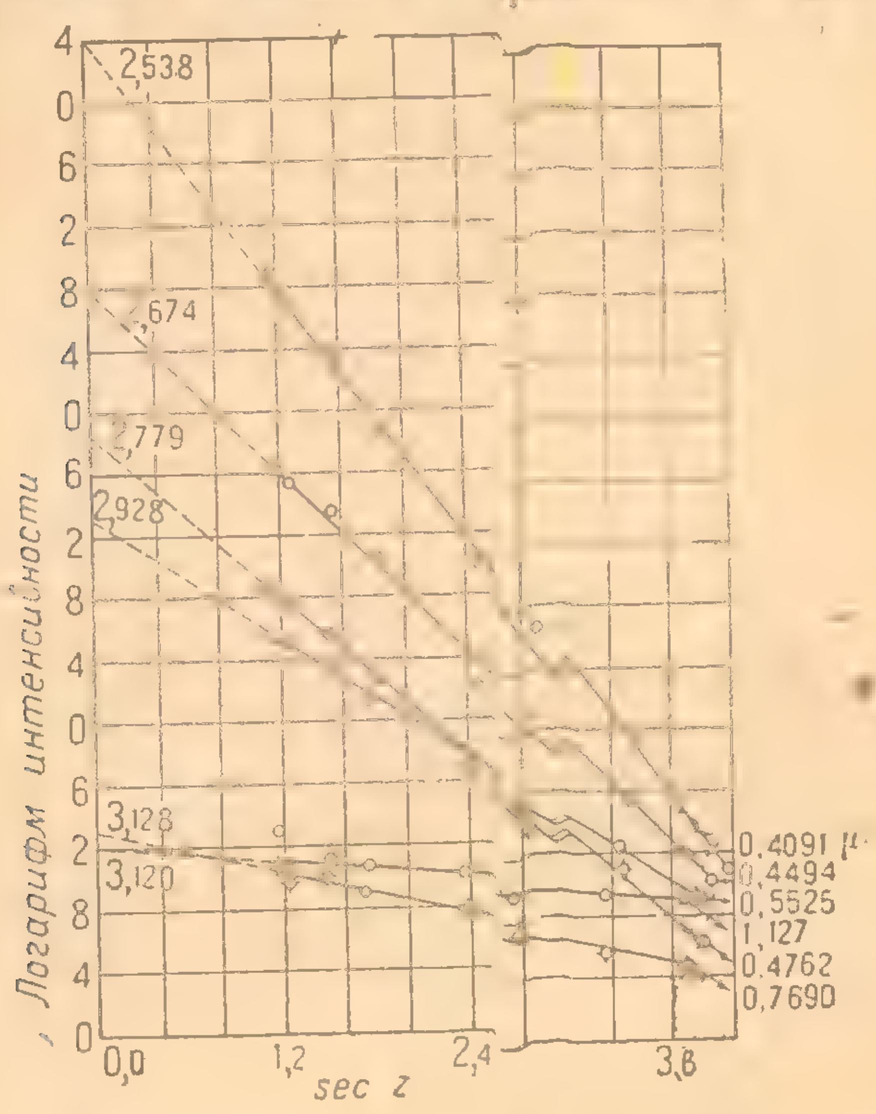


Рис. 85. График поглощения атмосферы.

для полной солнечной радиации и вывел отсюда свое знаменитое значение солнечной постоянной, равное 1,76 калорий на 1 $см^2$ в минуту. Радо, а позднее и Ланглэй ясно показали, что вследствие неодинаковой прозрачности для лучей различных длин волн мы вынуждены наблюдать прозрачность для каждого цвета в отдельности и определять также интенсивность каждого цвета вне атмосферы

Лэнглэй первый пошел по этому пути. По его методу мы суммируем площади, ограниченные кривой энергии солнечного спектра вне земной атмосферы и сравниваем их с площадями соответствующих кривых для зенитного расстояния Солнца, равного нулю. Отсюда мы можем найти действительную прозрачность атмосферы в вертикальном направлении для полной радиации. А зная из пиргелиометрических измерений интенсивности полной радиации для некоторого данного зенитного расстояния, мы можем определить, сколько единиц тепла представляет площадь соответствующей спектральной кривой энергии. Суммируя в тех же единицах площадь, которая должна соответствовать радиации вне земной атмосферы, мы можем получить истинное значение «солнечной постоянной».

Прозрачность атмосферы

В табл. 19 даны средние значения прозрачности атмосферы в вертикальном направлении для полной солнечной радиации по наблюдениям Астрофизической обсерватории Смитсонианского института.

Таблица 19

Прозрачность атмосферы для полной солнечной радиации

Место наблюдения	Вашингтон	Гора Вильсона	Гора Уитней
Истинная прозрачность	0,699	0,817	0,896
Кажущаяся прозрачность	0,787	0,894	0,960

Табл. 20 дает прозрачность атмосферы для вертикальных лучей и для лучей с зенитным расстоянием, секанс которого равен 2 и 3 соответственно для различных длин волн.

Таблица 20

Прозрачность атмосферы для [illegible] лучей[1]

Зенитное расстояние 0°

Длины волн в μ	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	1,0	1,2	1,6	2,0
Гора Уитни	(0,50)	0,668	0,787	0,847	0,903	0,923	0,954	0,970	0,980	0,931	0,975	0,910
" Вильсон	(0,31)	0,620	0,738	0,8[illegible]0	0,873	0,893	0,952	0,974	0,984	0,935	0,9[illegible]7	0,973
Вашингтон	—	0,0(?)	0,535	0,639	0,704	0,759	0,838	0,867	0,[illegible]91	0,914	0,9[illegible]	0,9[illegible]
Нижний слой атмосферы толщиной в 1 609 м	—	0,0(?)	0,725	0,[illegible]70	0,80[illegible]	0,847	0,890	0,890	0,916	0,928	0,943	0,934
Зенитное расстояние 60°												
Гора Уитни	0,[illegible]	0,446	0,619	0,717	0,81[illegible]	0,8[illegible]	0,910	0,941	0,960	0,962	0,951	0,[illegible]65
" Вильсона	0,036	0,372	0,530	0,6[illegible]	0,762	0,803	0,906	0,940	0,9[illegible]8	0,970	0,974	0,917
Вашингтон	—	—	0,[illegible]	0,405	0,[illegible]	0,576	0,702	0,752	0,812	0,[illegible]5	0,8[illegible]5	0,[illegible]6
Нижний слой атмосферы толщиной в 1 609 м		—	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Зенитное расстояние 7[illegible]°												
Гора Уитни	[illegible],125	0,2[illegible]8	0,487	0,608	0,7[illegible]	0,7[illegible]	0,[illegible]68	0,91[illegible]	0,941	0,914	0,927	0,[illegible]04
" Вильсон	0,023	0,[illegible]27	0,[illegible]	0,57[illegible]	0,665	0,719	0,[illegible]	0,921	0,953	0,936	0,9[illegible]2	0,911
Вашингтон	—	[illegible]	0,153	[illegible]	[illegible]	0,1[illegible]	0,5[illegible]	0,652	0,731	0,761	0,801	0,751
Нижний слой атмосферы толщиной в 1 609 м	—	—	0,331	0,457	0,524	0,608	0,705	0,705	0,769	0,70[illegible]	0,8[illegible]	0,815

[1] [illegible] данные значения получены из смитсоновских наблюдений и представляют средние результаты [illegible] дни для [illegible] и горы Вильсона. Для горы Уитни имелось лишь [illegible] дня наблюдений. Поглощение полос водяного пара не принято [illegible]. Результаты в инфракрасной части [illegible] изменений [illegible] во время [illegible] и поэтому [illegible] точны.

Солнечная постоянная

Как средний результат наблюдений, произведенных в Вашингтоне за 1902—1907 гг., на горе Вильсона за 1905—1910 гг. и на горе Уитнея за 1909—1910 гг., приведенных к абсолютной шкале*, получена полная интенсивность солнечной радиации вне земной атмосферы при среднем расстоянии Земли от Солнца (так называемая «солнечная постоянная»). Полученные значения, выраженные в калориях на 1 $см^2$ в минуту, приводятся в нижеследующей таблице:

Место наблюдений	Вашингтон	Гора Вильсона					Гора Уитнея	
Годы	1902—1907	1905	1906	1908	1909	1910	1909	1910
Число наблюдений	44	59	62	113	95	28	1	3
Средняя солнечная постоянная .	1,960	1,925	1,921	1,929	1,896	1,914	1,959	1,956

В 1909 и 1910 гг. наблюдения производились одновременно на горе Вильсона (высота 1,6 *км*) и на горе Уитнея (высота около 5 *км*) смитсонианскими наблюдателями и дали следующие результаты:

Дата	1909 Сентября 3	1910 Августа 12	Августа 13	Августа 14
Гора Вильсона	1,943	1,943	1,924	1,904
„ Уитнея	1,959	1,979	1,933	1,956

* Значения, опубликованные во втором томе анналов Астрофизической обсерватории Смитсонианского института, были даны в пиргелиометрической шкале, отличающейся на 5% от абсолютной шкалы, здесь даны значения, переведенные в абсолютные калории.

Мы видим, что, несмотря на различие высот наблюдательных станций и на различие атмосферной прозрачности над ними, получилось хорошее согласие между отдельными значениями «солнечной постоянной».

В последние годы смитсонианские наблюдатели произвели многочисленные наблюдения над солнечной постоянной в Калифорнии, Аризоне, Алжире и Чили. Их средний результат составляет 1,94 *кал* Весьма существенно, что средне месячные значения колеблются между 1,90 и 1,96 *кал*, причем наибольшие значения приходятся на период максимума солнечных пятен, низкие значения — на их минимум.

Полученную величину можно характеризовать следующим образом: если бы солнечные лучи были полностью использованы только на таяние льда, поставленного перпендикулярно к ним, то они были бы в состоянии растопить в год слой толщиною в 129 *м* *.

Такой слой льда, если бы он сплошь окружал Солнце на среднем его расстоянии от Земли, весил бы $4 \cdot 10^{25}$ *т* (4 с двадцатью пятью нулями) и полностью растопляемый каждый год поглощал бы столько же единиц тепла, сколько их выделяет сжигание $4 \cdot 10^{23}$ *т* антрацита. Это дает некоторое представление о ежегодно излучаемой солнечной радиации.

Свет неба

Из приведенных таблиц не следует, что только 81,7% солнечной радиации, при вертикальном положении Солнца, достигают уровня горы Вильсона. Это результат для прямого солнечного света. Однако даже на горе Вильсона свет неба прибавляет значительное количество непрямых лучей. На уровне моря свет неба составляет еще бо́льшую долю полной радиации, но до сих пор количественно он недостаточно изучен.

---

* Так как поверхность Земли в четыре раза превосходит площадь ее поперечного сечения, мы можем сказать, что солнечные лучи способны растопить за год слой льда, покрывающий Землю, средней толщины в 32,2 *м*.

Относительная яркость Солнца и неба получаются сильно различными, в зависимости от способа, которым они измеряются. Благодаря величине неба нет возможности, при улавливании лучей одновременно со всех его частей, сделать так, чтобы все лучи одновременно падали перпендикулярно к поглощающей поверхности. Поэтому свет неба находится в менее невыгодном положении при сравнении его со светом Солнца; за исключением того случая, когда мы наблюдаем яркость от каждой части неба отдельно и результаты суммируем. Из болометрических измерений 1905 и 1906 гг., произведенных смитсонианскими наблюдателями и обработанных по способу суммирования, оказалось, что полная радиация неба для всех лучей на горе Вильсона, подсчитанная для случая перпендикулярного падения, составляет от 11 до 12% полной прямой радиации Солнца. При этих сравнениях предполагалось, что и лучи Солнца и лучи неба падают перпендикулярно к поглощающей их поверхности и зенитное расстояние Солнца не превышает 50°. Отношение обеих радиаций зависит от ясности неба, уменьшаясь с его затуманиванием. При допущении, что небо освещает горизонтальную поверхность, а Солнце — поверхность, перпендикулярную его лучам, указанные отношения составляют 5,2 и 7,7. Если же лучи Солнца и лучи неба светят на горизонтальную поверхность, то отношение, конечно, сильно меняется от часа к часу.

Проф. Экснер (Exner) вывел формулу, связывающую яркость Солнца и яркость неба, исходя из гипотезы, что свет неба всецело обусловлен рассеянием частицами, малыми по сравнению с длиной волны луча. Ему пришлось при этом по необходимости сделать несколько довольно грубых упрощающих допущений. Тем не менее, его подсчеты прекрасно совпадают с подсчетами, полученными из наблюдений. В табл. 21, взятой из работы Экснера, через z обозначено зенитное расстояние Солнца, через H — интенсивность света неба и через S — интенсивность солнечного света; причем и то, и другое измерены для случая падения на горизонтальную поверхность. Интенсивность

солнечного света при перпендикулярном падении вне атмосферы принята за единицу. Величина p есть коэффициент прозрачности атмосферы над наблюдателем для вертикального луча. Из смитсонианских наблюдений мы видим, что $p = 0,6$ должно соответствовать длине волны 0,43 μ (фиолетовый цвет) в Вашингтоне и 0,35 μ (ультрафиолетовая часть) на горе Вильсона. Соответственно с этим для $p = 0,75$ мы имеем 0,59 μ (желтый цвет) в Вашингтоне и 0,41 μ (фиолетовый цвет) на горе Вильсона.

Таблица 21

Свет Солнца и свет неба (по Экснеру)

	$p = 0,6$				$p = 0,75$			
	H	S	$S+H$	$\frac{S}{H}$	H	S	$S+H$	$\frac{S}{H}$
80	0,241	0,009	0,250	0,04	0,136	0,0[illegible]	0,163	0,24
70	0,245	0,077	0,322	0,31	0,138	0,147	0,285	1,06
60	0,252	0,180	0,433	0,71	0,141	0,282	0,423	2,00
50	0,259	0,289	0,548	1,12	0,146	0,408	0,554	2,79
40	0,268	0,394	0,6[illegible]2	1,47	0,151	0,5[illegible]8	0,679	3,50
30	0,276	0,484	0,760	1,75	0,155	0,625	0,780	4,03
20	0,281	0,547	0,828	1,95	0,158	0,693	0,851	4,38
10	0,285	0,582	0,8[illegible]7	2,04	0,160	0,731	0,891	4,57
0	0,288	0,600	0,888	2,08	0,162	0,7[illegible]0	0,912	4,63

Изменение H с зенитным расстоянием Солнца в этих таблицах меньше, чем в действительности. Это видно из нижеследующих измерений Роско (Roscoe), для которых можно принять $p = 0,6$.

Единицы, употреблявшиеся Роско, иные, чем у Экснера, так что для сравнения, результаты Роско следует умножить на 2 или 2,5. В силу больших расхождений для различных дней и для различных станций в подобных результатах, на подсчеты Экснера нужно смотреть как на достаточные лишь для того, чтобы дать общее представление о согласии теории с наблюдениями. В самом деле, следующая сводка

которую я привожу из описания Визнера (Wisner) его фотографических наблюдений света, получаемого горизонтальной поверхностью, очень хорошо совпадает с результатами Экснера для коротких длин волн.

Таблица 22

Свет Солнца и свет неба (по Роско)

z	80°9′	70°19′	58°46′	47°47′	36°51′	25°46′
H	0,038	0,062	0,100	0,115	0,126	0,138
S	0,000	0,023	0,052	0,100	0,136	0,221

Интенсивность прямого солнечного света, которая иногда превосходит вдвое интенсивность рассеянного света, может также упасть до нуля. Для высот Солнца, меньших 19° ($z = 71°$), химическая интенсивность солнечного света ничтожна по сравнению с рассеянным дневным светом. С возрастанием высоты Солнца интенсивность прямого света выигрывает по сравнению с рассеянным светом. Высота Солнца, при которой $S = H$, оказывается непостоянной даже для неба, представляющегося ясным и на одной и той же станции. При отсутствии облаков равенство интенсивности прямого и рассеянного солнечного света наступает обычно при высоте Солнца около 57° ($z = 33°$), однако, при ясном небе, однажды равенство интенсивностей наблюдалось при высоте Солнца 33° ($z = 57°$).

Вследствие того, что интенсивность прямых лучей может достичь двойной величины интенсивности лучей рассеянных, общий их химический эффект может оказаться в три раза более сильным, чем эффект рассеянного света.

Экснер приводит также подсчеты относительного количества прямого и рассеянного света вместе, получаемого вертикальной поверхностью, обращенной на юг, на север, на запад и на восток, по сравнению с поверхностью горизонтальной. Предполагается, что только обращенная на юг вертикальная поверхность

получает некоторое количество прямого солнечного света, обозначаемого через Σ. Буквы V_S, V_N, V_W и V_E обозначают рассеянное освещение вертикальных поверхностей, обращенных на юг, север, запад и восток. S и H сохраняют свой прежний смысл.

Таблица 23

Освещенность вертикальной поверхности светом неба (по Экснеру и Шрамму)

Зенитное расстояние z	Вычисления для $p = 0{,}8$: $\frac{\Sigma + V_S}{S+H}$	$\frac{V_N}{S+H}$	$\frac{V_W}{S+H} = \frac{V_E}{S+H}$	Наблюдения Шрамма: $\frac{\Sigma + V_S}{S+H}$	$\frac{V_N}{S+H}$	$\frac{V_W}{S+H}$	$\frac{V_E}{S+H}$
85	1,43	0,537	0,461	2,73	0,560	0,542	0,604
75	2,21	0,263	0,241	3,41	0,268	0,397	0,386
65	1,69	0,148	0,146	1,81	0,258	0,331	0,351
55	1,25	0,099	0,104	1,32	0,147	0,223	0,204
45	0,92	0,075	0,083	0,976	0,118	0,195	0,175
35	0,68	0,062	0,071	0,749	0,091	0,131	0,139

Не представляется вероятным, чтобы влияние прямого солнечного света было полностью исключено для V_E и V_W в наблюдениях Шрамма (Schramm). Независимо от этого согласие результатов наблюдений и вычислении достаточно хорошее, на что указывает нижеследующая сводка.

Отношение средней вертикальной освещенности и освещенности для поверхности, обращенной на север:

Отношение	$\Sigma + V_S$	V_N	V_W	V_E	$V_{сред}$
Наблюденное . .	7,64	1,00	1,26	1,29	2,80
Вычисленное . .	6,91	1,00	0,94	0,94	2,45

Экснер вычислил, исходя из $p = 0{,}6$ и $z = 4$[illegible]°, с[illegible]дующие величины:

$S+H$	$\Sigma+V_S$	V_N	$V_W - V_E$	$V_{сред}$	$\frac{S+H}{V_{сред}}$	$\frac{\Sigma+V_S}{V_N}$
0,662	0,180	0,105	0,120	0,207	3,2	4,5

В г[illegible] упоминалось о том, что Шустер при[illegible]ложил теорию р[illegible]ния света Релэя (частичками, мал[illegible]ми по сравнению с длиной волны) для вычисления до[illegible] прошедшего прямого солнечного света. Он принял, [illegible]то потеря света в атмосфере всецело зависит от рас[illegible]яния, производимого молекулами газов, составляющи[illegible] воздух. Он обнаружил близкое совпадение меж[illegible]у результатами вычислений и результатами набл[illegible]дении для совершенно ясного дня на горе Вильсона и [illegible] в Вашингтоне. Это говорит за то, что твердые пы[illegible]инки в воздухе играют второстепенную роль в изм[illegible]енин солнечной радиации в хороший день, и что при [illegible]таких условиях, каковые обычно имеются на горе Ви[illegible]сона и иногда и в Вашингтоне, почти весь свет неб[illegible] обязан диффузному отражению, т. е. рассеянию с[illegible]лнечных лучей молекулами воздуха. К сходным за[illegible]ючениям пришел совсем недавно Натансон, [illegible] он рассматривал данный вопрос с точки зрения эле[illegible]тронной теории.

Свет неба несравненно богаче фиолетовыми лу[illegible]ами, чем свет прямого солнечного луча. Нижепривед[illegible]ные значения взяты из смитсонианских наблюдений [illegible] для различных длин волн, причем интенсивности кра[illegible]йних красных лучей для солнечного света и для света [illegible]неба принимались почти равными, и спектральное ра[illegible]пределение, согласно с наблюдениями на поверхн[illegible]ости горы Вильсона, в обоих случаях оказалось бли[illegible]ким к нормальному (табл. 24).

На уровне моря, особенно в городах и други[illegible] запыленных местностях, доля голубых лучей в [illegible]вете неба обычно значительно меньше той, которая при[illegible]веден выше. Для частиц, больших по сравнению с [illegible]линой волны света, таких, как пылинки, не происх[illegible]дит

Таблица 24

Относительные яркости для различных длин волн
(гора Вильсона)

Длины волн в μ	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Свет Солнца, $z = 50°$.	186	232	227	211	191	166
Свет неба	1 194	986	701	395	231	174
Отношения	6,92	4,25	3,09	1,87	1,21	1,05

того же явления, как при малых частичках и молекулах. Большие частички при отражении солнечного света стремятся уменьшить, но не увеличить относительную интенсивность лучей короткой длины волны.

Свет неба ярче вблизи Солнца и у горизонта. Результаты, приведенные в табл. 25 для полной радиации, получены из болометрических измерений на горе Вильсона и на острове Флинт, коралловом острове в Тихом океане вблизи экватора, лежащем в 640 *км* на северозапад от Таити.

Таблица 25

Средняя яркость неба по зонам (о. Флинт и гора Вильсона)

			0—15°	15—35°	35—50°	50—60°	60—70°	70—80°	80—90°
I	Зенитное расстояние зоны								
II.	Поверхность зоны		0,034	0,147	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
III.	Косинус среднего зенитного расстояния		0,98	0,91	0,73	0,57	0,42	0,26	0,087
IV.	Отношение яркостей: неба·10⁷ / Солнце	О. Флинт	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	73,0
		Гора Вильсона	24,3	10,8	10,9	12,4	15,4	17,6	34,9
V	Произведение (II)·(IV)	О. Флинт	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	10,43	11,73	[illegible]
		Гора Вильсона	0,83	1,59	1,92	1,77	2,43	2,96	6,07
VI	Произведение (II)·(III)·(IV)	О. Флинт	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
		Гора Вильсона	0,81	1,45	1,40	1,01	1,02	0,77	0,53

Измерения приведены к положению Солнца в зените. Просуммировав строчки (V) и (VI), мы найдем среднюю яркость участка неба, равного по угловому диаметру Солнцу, по сравнению с яркостью самого Солнца: во-первых, когда лучи и в том и в другом случае улавливаются поверхностью, к ним перпендикулярной; во-вторых, когда свет неба улавливается горизонтальной поверхностью, а солнечные лучи — поверхностью, к ним перпендикулярной. Измерения включают все лучи, пропускаемые стеклянной пластинкой в три миллиметра толщиной. Результаты их таковы:

Таблица 26

Отношение полной радиации неба к солнечной радиации

Станция	Для равных площадей		Для всего неба	
	отвесное падение	небо на горизонтальной поверхности	отвесное падение	небо на горизонтальной поверхности
О. Флинт	$636 \cdot 10^{-8}$	$302 \cdot 10^{-8}$	0,67	0,38
Гора Вильсона	$176 \cdot 10^{-8}$	$69 \cdot 10^{-8}$	0,18	0,072

Итак, согласно этим измерениям (которые, однако, недостаточно многочисленны и недостаточно точны), небо на уровне моря посылает на горизонтальную поверхность тридцать два процента радиации по отношению к силе прямой солнечной радиации. На высоте 1 800 *м* оно дает всего лишь 7,2%.

Зависимость температуры на Земле от радиации Солнца

Температура земной поверхности, повидимому, поддерживается в настоящее время почти всецело поглощением солнечной радиации.

Некоторые ученые считают, что температура Земли медленно повышается. А если так, то это должно указывать на то, что полная сумма притекающего на

Землю тепла превосходит его потерю. Это изменение температуры, если оно даже реально, настолько мало, что практически мы можем сказать, что приходящее к Земле и уходящее от нее тепло взаимно уравновешиваются. Пренебрегая относительно неощутимым эффектом роста растительности и другими теплоемкими процессами, можно считать, что потеря тепла полностью обусловливается длинноволновым излучением Земли в мировое пространство. Показано, что поглощение в атмосфере водяными парами, углекислотой и озоном в общей сложности задерживают около девяти десятых (или ровно девять десятых), тех лучей, которые земная поверхность испускает в мировое пространство.

Поэтому можно рассматривать, что эффективный излучающий слой Земли расположен в атмосфере и представляет по преимуществу слои водяного пара на высоте нескольких километров со средней температурой около —10°. Еще выше расположены эффективные излучающие слои углекислого газа и озона, средняя температура которых доходит до —60°, они излучают свободно в нескольких ограниченных областях спектра. Мы не далеко уйдем от истины, если примем, что средняя температура излучающего слоя Земли не выше 260° абс. *. Вещества, составляющие этот излучающий слой, а именно водяной пар, углекислота и озон, благодаря свойственному им сильному избирательному поглощению для лучей их собственной температуры, могут явиться также почти идеальными радиаторами для той же самой температуры. Полагая, что их излучающая способность такова же, как у идеального радиатора, лучеиспускание рассматриваемого излучающего слоя при температуре 260° абс. составит по закону Стефана (см. гл II) около 0,37 калорий на 1 *см*² в минуту.

Чтобы поддержать эту среднюю скорость потери тепла со всей поверхности Земли, солнечная радиация, освещающая эффективную площадь, равную только площади поперечного сечения Земли, должна погло-

* Вода замерзает при 273° и кипит при 373° этой шкалы.

щаться в четыре раза быстрее, т. е в количестве 1,48 калорий на 1 $см^2$ в минуту. Из энергии, представляемой солнечной постоянной (1,94 *кал*), согласно смитсонианским определениям «альбедо» Земли, около 43% отражается обратно в пространство. Оставшиеся 1,11 *кал* почти достаточны, чтобы доставить столько тепла, сколько по подсчетам теряется Землей. Разность (0,37 *кал*) включает, конечно, некоторое ощутимое количество тепла, доставляемое земными источниками, как, например, радиоактивным процессом. Однако кажется вполне естественным предположить, что разность может проистекать от того, что 1) принятый эффективный излучающий слой Земли не является идеальным радиатором, и его излучение оказывается меньше чем 0,37 калорий на 1 $см^2$ в минуту, каким должно бы быть излучение идеального радиатора при 260° абс., или 2) потому, что эффективная температура излучения ниже 260° абс.

Поверхностная температура Земли достигает 310° абс. под тропиками и у полюсов падает до 220°, средняя же эффективная температура поверхности Земли составляет 287°,2 абс., т. е. + 14°,2 Ц. Она превышает температуру излучающего слоя на 25°. Это в значительной степени похоже на то, что имеет место в парнике садовника, или в паропроводе, обернутом асбестом, когда их температура выше температуры окружающего пространства. Солнечные лучи легко проходят сквозь водяной пар в атмосфере и нагревают земную поверхность. Потеря тепла земной поверхностью, как мы видим, преграждается атмосферой. Поэтому температура земной поверхности достаточно повышает поток тепла по направлению к эффективному излучающему слою. И если бы не было защищающего влияния водяных паров атмосферы, то средняя температура земной поверхности, вероятно, была бы близка к —20° Ц при той же отражающей способности Земли. Если бы в нашем воздухе не было водяного пара, то лучи Солнца достигали бы земной поверхности по крайней мере на десять процентов более интенсивными, чем теперь в безоблачный день. Так как облака отсутствовали бы, то около 1,75 *кал*

могли бы греть Землю вместо теперешних 1,11 *кал*. Следовательно, средняя температура Земли, если бы вода отсутствовала, было бы 270 абс., т. е. —3 Ц. Но тогда происходили бы значительно большие, чем теперь колебания температуры от ночи ко дню и от лета к зиме.

На Луне нет атмосферы и по наблюдениям лорда Росса (lord Ross), Ланглэя и Вери (Very) температура обращенной к Солнцу лунной поверхности может упасть, во время полного лунного затмения, несмотря на его малую продолжительность, от температуры кипения воды до температуры значительно более низкой, чем температура замерзания воды Совершенно иначе обстоит дело на Земле: в табл. 27 приведены средние годовые суточных колебаний температуры двух пунктов Земли.

Таблица 27

Средние годовые температуры и отклонения от них в разные часы суток (в градусах Цельсия)

Место наблюдений	Часы						
	0	2	4	6	8	10	12
Тимбукту (16°49′N) . .	−1°1	−5°6	−6°8	−7°7	−2°8	+3°2	+6°9
Порт-о-Пренс (18°34′N) . .	−2°6	−3°2	−3°7	−3°8	−0°6	2°9	+4°7

Место наблюдений	Часы						
	14	16	18	20	22	24	Среднее
Тимбукту (16°46′N) . .	+8°5	+7°4	+3°4	−0°1	−2°4	−4°1	29°2
Порт-о-Пренс (18°34′N) . .	+4°5	+3°1	+1°1	−0°8	−1°3	−2°6	25°9

Даже полярная ночь продолжительностью в пять месяцев, когда Солнце неизменно остается под горизонтом, не дает такого колебания температуры на Земле, какое дает на Луне полное затмение продолжительностью всего лишь в несколько часов. Об этом свидетельствуют следующие средние температуры.

Форт Конгер (81°44′ с. ш.). Температура по Цельсию

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
−39°0	−40 1	−33 5	25 3	−10 0	+ 0 4	+ 2 8	+ 1°0	− 9°0	−22 7	−30 9	− 3°4

Эти примеры показывают, как постепенно падает температура Земли, когда совершенно прекращается солнечная радиация. Замедление не может быть приписано влиянию внутреннего тепла Земли. Исходя из повышения температуры по мере углубления внутрь Земли (около 1° на 28 *м*), стоящего в связи с наблюденной теплопроводностью скал (около 0,0042 калорий на 1 *см*² в секунду), вычислено, что тепло, притекающее к поверхности из недр, составляет примерно 0,00010 калорий на 1 *см*² в минуту. Это было бы достаточно для поддержания идеального радиатора всего лишь при температуре 33° абс. или земной поверхности при температуре не выше 40 абс., т. е. —233° Ц. Даже это далеко превосходит то, что Луна и все звезды, взятые вместе, могли бы дать, если бы не было Солнца.

Помещенная ниже таблица * средних месячных температур дает некоторое представление о годовом колебании температуры на Земле в различных точках северного полушария. Несколько пар станций, расположенных примерно на одной широте, но из которых

* Приводимые в ней цифры заимствованы преимущественно из различных работ Ханна.

для контраста одна внутриконтинентальная, а другая приморская, показывают смягчающее влияние океана на колебания температуры.

Станции	Верхоянск	Форт Конгер	Сан-Луи (США)	Порт Дельгода (Азорские о-ва)	Тимбукту	Порт-о-Пренс	Богота	Жалуи (Маршальские о-ва)
Широты (сев.)	67°34′	81°44′	38°38′	37°45′	16°49′	18°34′	4°3′	5°55′
Высоты в *м*	—		173	10	250	36	660	3
Январь	−51°,0	−39°,0	− 0°,8	+14°,1	+21°,8	+24°,1	+14°,2	+27°,1
Февраль	−45 ,3	40 ,1	+ 1 ,7	+13 ,9	+23 ,8	+24 ,6	+14 ,4	+27 ,2
Март	−32 ,5	−33 ,5	+ 6 ,2	+14 ,1	+28 ,1	+25 ,1	+14 ,8	+27 ,0
Апрель	−13 ,7	−25 ,3	+13 ,4	+15 ,4	+32 ,5	+25 ,9	+14 ,7	+26 ,9
Май	+ 2 ,0	−10 ,0	+18 ,8	+16 ,6	+35 ,0	+26 ,0	+14 ,8	+26 ,9
Июнь	+12 ,3	+ 0 ,4	+21 ,0	+18 ,9	+34 ,2	+27 ,1	+14 ,5	+26 ,8
Июль	+15 ,5	+ 2 ,8	+26 ,0	+21 ,3	+32 ,7	+27 ,6	+14 ,1	+26 ,8
Август	+10 ,1	+ 1 ,0	+24 9,	+22 ,0	+31 ,1	+27 ,3	+13 ,9	+26 ,9
Сентябрь	+ 2 ,5	− 9 ,0	+20 ,8	+20 ,9	+31 ,8	+26 ,7	+13 ,9	+26 ,9
Октябрь	−15 ,0	−22 ,7	+14 ,2	+18 ,9	+31 ,0	+26 ,3	+14 ,4	+27 ,1
Ноябрь	−37 ,8	−30 ,9	+ 6 ,4	16 ,9	+26 ,8	+25 ,6	+14 ,7	+27 ,1
Декабрь	−47 ,0	−33 ,4	+ 2 ,0	+15 ,1	+21 ,4	+24 ,4	+14 ,6	+27 ,0
Годовые амплитуды	66°,5	42°,9	26°,8	8°,1	13°,6	3°,5	0°,9	0°,4
Годовые средние	−16°,7	−20°,0	+13°,1	+17°,3	+29°,2	+25°,9	+14°,4	+27°,0

Читатель заметит, насколько меньше годовые колебания температуры для приморских станций, чем для станций, находящихся на материке вдали от морских берегов. Видно также, что годовые колебания увеличиваются с широтой. Это обусловливается отчасти увеличением неравенства самого длинного дня и самой короткой ночи в высоких широтах, а отчасти — более быстрым изменением интенсивности освещения с изменением зенитного расстояния Солнца на больших широтах. На экваторе день и ночь всегда равны и секанс зенитного расстояния полуденного Солнца меняется от 1 до 1,091. На широте 45° длина

ния изменяется от 8 ч. 34 м. до 15 ч 26 м. и секанс зенитного расстояния Солнца в полдень меняется от 1,075 до 2,732. Величина этого секанса влияет на результат в двух отношениях — во-первых, поскольку он измеряет длины путей лучей в воздухе, во-вторых, поскольку он измеряет их ослабления — вследствие наклонного падения на горизонтальную поверхность.

Слабое влияние на годовой ход солнечной радиации оказывает также изменение расстояния Земли от Солнца. Эта причина увеличивает, примерно, на 7% приток тепла на Землю в январе, по сравнению с июлем, и, комбинируясь с ходом склонения Солнца, создает под тропиками два максимума и два минимума. В Боготе максимумы температуры приходятся на март—май и на октябрь—декабрь, минимумы — на август—сентябрь и на январь, все они немного запаздывают относительно соответствующих максимумов и минимумов радиации.

Принимая во внимание три фактора — расстояние Солнца, наклонность лучей и продолжительность дневного сияния, — была выведена формула для подсчета «эффективной инсоляции», как иногда ее называют. Это интенсивность однородного пучка лучей, который, если его улавливать постоянно поверхностью, к нему перпендикулярной, доставил бы такое же количество энергии, как тот, который в действительности падает на горизонтальную поверхность. При таких подсчетах потерями в атмосфере обычно пренебрегают, но, с другой стороны, пренебрегают также диффузной радиацией неба. Мы можем также вообразить некоторую гипотетическую Землю, по величине и по движению одинаковую с действительной Землей, но представляющую идеальный поглотитель и радиатор; тонкую, как яичная скорлупа; идеально проводящую тепло с востока на запад, но совершенно не проводящую тепла с севера на юг. Температура такой модели может быть вычислена для любого момента и любой широты по закону Стефана (см. гл. II). Когда подсчитанная таким способом температура была сравнена с действительной, наблюденной температурой на Земле, то было найдено, что ни одна из существую-

щих станции не обнаруживает столь больших годовых колебаний температуры, как соответствующая гипотетическая станция. Для Тимбукту и некоторых других станций в пустыне наблюденные колебания по величине более половины вычисленных. В среднем для внутриматериковых станций отношение составляет около трех десятых; для приморских станций — в среднем одну пятую; для станций на островах — одну двенадцатую; для Апии на Самоа — только одну двадцать пятую. Для гипотетической Земли относительное изменение абсолютной температуры везде составляет одну четверть относительного изменения обусловливающей его солнечной радиации.

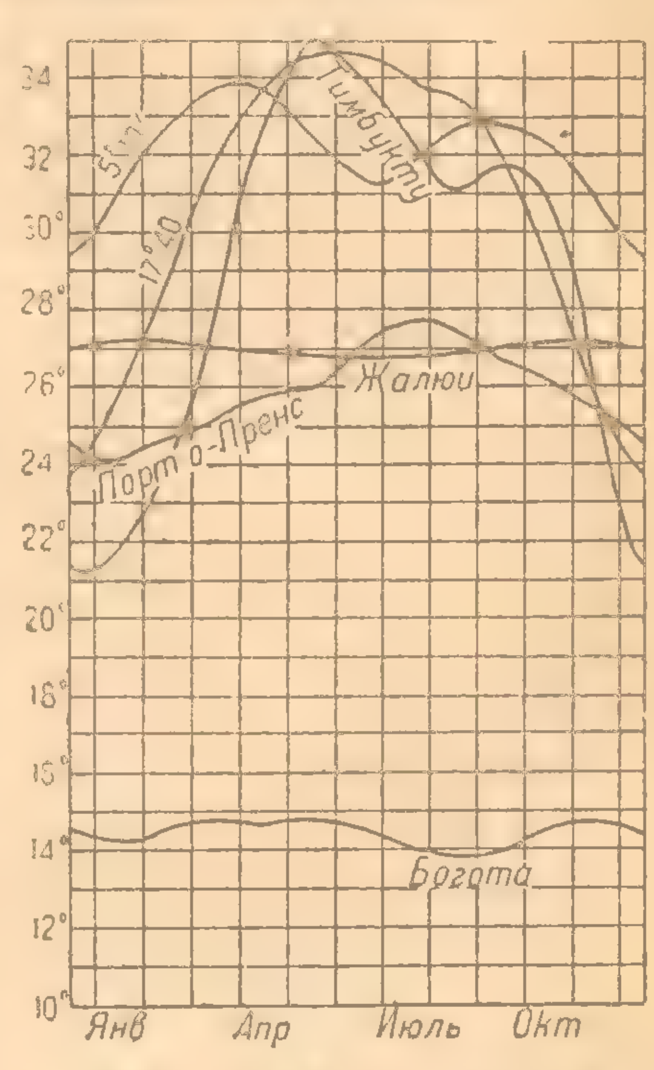


Рис. 86. Годовой ход инсоляции и температур на Земле.

На рис. 86 представлен ход «эффективной инсоляции» для северных широт 17°40′ и 5°10′, а также годовое изменение температуры в Тимбукту (16°49′), Порт-о-Пренсе (18 34′), Боготе (4 31′) и Жалуи (5°55′). Кривые показывают, как сильно эффект солнечного влияния может быть изменен местными условиями и, особенно, насколько значительны те запаздывания, которые наблюдаются на океанических станциях, между изменениями на Солнце и вызванными им температурными эффектами на Земле. Так, в то время как в Тимбукту, континентальной станции, максимум

и минимум температуры наступает близко при минимуме эффективной инсоляции, для других мест имеется столь далекое отклонение, что максимум температуры наступает тремя месяцами позднее максимума инсоляции — в Сан-Луи (Сенегамбии), приморской станции к западу от Тимбукту. Такие факты должны приниматься во внимание, когда мы говорим о статистическом изучении температур, чтобы определить, не происходит ли уклонений в солнечной радиации. Можно ожидать одновременного влияния на температуру всех земных станций длинных солнечных периодов, подобных 11-летнему периоду солнечных пятен, но не тех временных изменений на Солнце, продолжительность которых всего несколько дней или месяцев. Можно ожидать, что эти кратковременные изменения проявят свое влияние лишь в пунктах, континентальных и притом по преимуществу безоблачных. Положение температурного минимума, следующего за возбуждающим его минимумом солнечной радиации, отличается для средних континентальных станций примерно на 20 дней, и только на 10 дней в особо благоприятных случаях, но в случае многих станций на островах достигает двух или более месяцев.

Колебания солнечного излучения

Были сделаны многочисленные попытки выяснить, не свидетельствуют ли отклонения земной температуры от ее нормальной величины о существовании колебаний интенсивности солнечной радиации Кёппен, на основании подобных исследований, опубликованных в 1873, 1880 и 1881 гг., пришел к заключению, что температура Земли во время минимума солнечных пятен выше, чем во время их максимума. Этот вывод был подтвержден Стоном (Stone), Гульдом (Gould), Нордманном, Ньюкомом, Абботом и Фоулем, Арктовским, Уокёром (Walker) и другими.

В общем итоге этих исследований мы можем сделать заключение, что изменение числа Вольфа на 100, что составляет, примерно, среднюю амплитуду в числе пятен, дает изменение средней температуры Земли

приблизительно на 0°,7. Причина этого не может заключаться в простом потемнении солнечного диска от покрывающих его поверхность пятен, потому что, если бы даже они были совершенно черны, то изменение радиации Солнца, соответствующее относительному числу пятен 100, составило бы всего лишь 1/500, т. е. в 5 раз меньше, чем нужно для того, чтобы произвести наблюдаемое изменение температуры. Поэтому должны существововать иные изменения на Солнце (или, может быть, в земной атмосфере, или в разделяющем их пространстве), которые еще не вскрыты и которые ведут к увеличению солнечных пятен и влияют на уменьшение солнечной радиации сильнее, чем чернота самих пятен.

Клэйтон (Clayton) в своем исследовании «Мировая погода», упоминая с одобрением вышеуказанные общие результаты Кеппена и других, и показав, что они вообще оправдываются в экваториальных и умеренных областях, вместе с тем отмечает исключения из общего правила, по которому высокая температура преобладает при минимуме солнечных пятен; эти исключения составляют безводные континентальные станции. Он устанавливает также, что есть несколько континентальных станций, для которых в зимние месяцы температура оказывается более высокой во время минимума солнечных пятен, но летом наблюдается обратное.

Земля не реагирует как целое на связь ее температуры с циклом солнечных пятен. Мы предполагаем, что безводные районы и более безоблачное небо в летнюю половину года должны представлять более благоприятные условия для прямого солнечного влияния. Поэтому можно было бы ожидать из одних только метеорологических записей, что преобладающая в общем при максимуме солнечных пятен более низкая температура является, в действительности, не прямым эффектом, а связана с более густой облачностью. Это заставляет нас поставить вопрос о том, действительно ли солнечное излучение в конце концов больше при максимуме солнечных пятен, несмотря на то, что температура Земли в это время вообще ниже.

Повидимому, метеорологические условия настолько усложнены неправильным распределением суши и моря, облачными и ясными пространствами и жаркими и холодными областями, что мы не можем надеяться определить с достоверностью солнечные изменения путем климатических исследований. Поэтому мы должны сначала решить обратный вопрос, определить солнечные изменения путем непосредственных наблюдений, а затем уже искать их влияние на Землю.

До 1905 г. измерения солнечной радиации, произведенные в различных странах различными исследователями, настолько расходились между собою, что не позволяли получить достаточно точных сведений о солнечном лучеиспускании, которые могли бы повести к открытию изменчивости самого Солнца. Но в последние годы смитсонианские наблюдения, производящиеся ежедневно в течение всех месяцев в Калифорнии, в Чили и в Юго-западной Африке, настолько между собой согласны, что они пригодны для установления интенсивности солнечной радиации вне атмосферы в очень тесных пределах; поэтому теперь имеются, повидимому, все данные, чтобы открыть точную природу солнечных вариаций и их влияния на погоду и климат.

Рис. 87 дает средний месячный ход солнечной постоянной с 1918 по 1927 г., главным образом по наблюдениям на горе Монтезума в Чили и отчасти еще и по наблюдениям на горе Гарка-Гала в Аризоне. Параллельно с кривыми солнечных вариаций даны кривые относительных чисел солнечных пятен. Совершенно ясно, что солнечная радиация имеет тенденцию возрастать при усилении активности солнечных пятен, но что связь эта не тесная. Наблюдения, произведенные на горе Вильсона в Калифорнии в годы с 1905 по 1920, согласуются с этими заключениями. Величина влияния солнечных пятен на солнечную радиацию выражается приблизительно в 2% на относительное число пятен 100.

Помимо такого влияния пятен на солнечную постоянную из средних месячных наблюдений найдена вполне определенная ее периодичность в 2,15 года.

Подобный период был найден в климатических явлениях, охватывающих большие промежутки времени, и

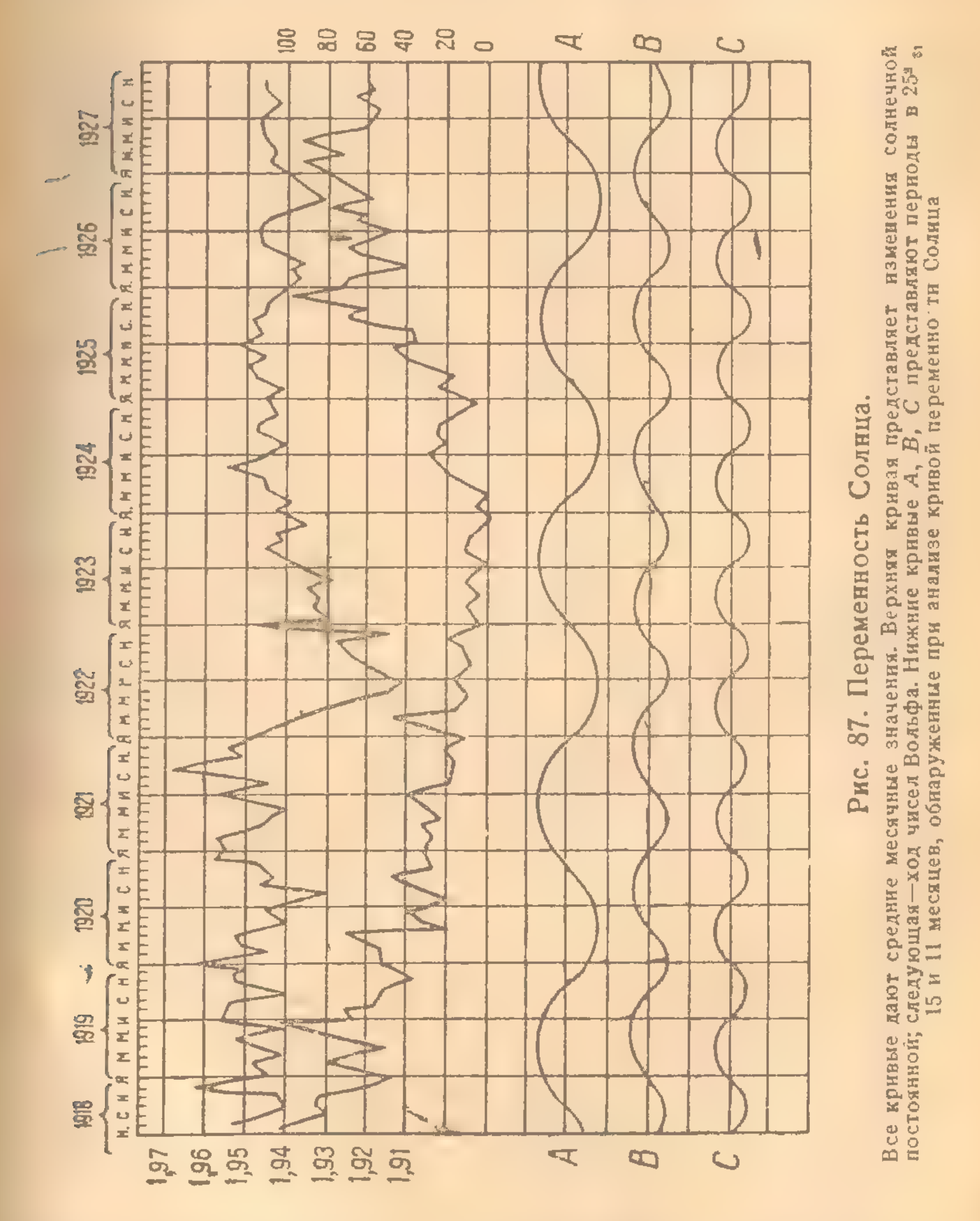


Рис. 87. Переменность Солнца.

Все кривые дают средние месячные значения. Верхняя кривая представляет изменения солнечной постоянной; следующая—ход чисел Вольфа. Нижние кривые A, B, C представляют периоды в 25, 15 и 11 месяцев, обнаруженные при анализе кривой переменности Солнца

даже в урожайности: эта периодичность, повидимому, реальна и устойчива. Менее явно выражены периодичности соответственно в 11 и 15 месяцев.

Кроме этих скорее долгопериодических изменений солнечной радиации ото дня ко дню наблюдения показывают внезапные отклонения, составляющие от одного до трех процентов. Это, видимо, связано с вращением Солнца и обусловлено временным неравенством яркости различных частей его поверхности. Особенно, когда большое солнечное пятно проходит вследствие вращения Солнца поперек его диска, можно наблюдать более низкие значения солнечной радиации, спустя, примерно, день после прохождения их через центральный меридиан.

Часто задают вопрос, не обусловливаются ли наблюденные изменения солнечной радиации неисключающимися случайными атмосферными влияниями. Но согласие между собой результатов многих лет, при разнообразном оборудовании и различных наблюдателях, повидимому, подтверждает реальность изменений интенсивности солнечной радиации, сопутствующих возрастанию активности солнечных пятен.

Между тем Петтит наблюдал на горе Вильсона большие изменения в крайней ультрафиолетовой части спектра. Они обнаружили положительную корреляцию с изменениями полной солнечной радиации, данной смитсонианскими станциями.

Итак, мы имеем весьма вероятное, если не абсолютно установленное, доказательство того, что Солнце есть неправильно переменная звезда, дающая радиации больше при более сильном видимом ее возмущении, и имеющая ячейки неодинаковой яркости, которые вследствие вращения Солнца ото дня ко дню представляют области неравной излучающей способности. Величины изменений его полной радиации, как оказывается, редко превосходят 2—3%.

Вопрос о влиянии этих предполагаемых солнечных изменений на погоду был рассмотрен и с точки зрения наблюдений и с точки зрения теории. Клэйтон опубликовал колоссальный материал статистических исследований наблюдений температуры, барометрического давления и осадков, расположенных в таком порядке, чтобы выявить влияние солнечных изменений. Он считает доказанным, что, с увеличением интенсивности

солнечной радиации, господствующие в экваториальном поясе низкие давления еще более понижаются, а пояса повышенного давления в умеренных зонах становятся более усиленными и отходят ближе к полюсам. Таким образом с усилением солнечной радиации усиливаются факторы, стремящиеся сделать атмосферную циркуляцию более интенсивной, и атмосферные центры действия перемещаются по направлению к полюсам Клэйтон нашел, что с перемещением центров действия по широте и в некоторой степени по долготе происходит чрезвычайное усложнение влияний на погоду и для полного вскрытия этого переплетения потребуется еще очень большой ряд исследований. Сам он, однако, настолько изощрился в этом, что отваживается прдесказывать условия погоды на значительное время вперед, основывая свои предсказания главным образом на показаниях солнечных изменений.

С другой сторны, руководители главных метеорологических служб всего мира остаются еще (в 1928 г.) глухи к важности изучения происходящих на Солнце изменений для предвидения погоды. Они придерживаются того мнения, что наблюденные изменения, если они даже действительно обусловлены Солнцем, слишком ничтожны для того, чтобы иметь значение. Так, по словам одного из них, — «если бы комната освещалась сотней ламп и одна или две из них были погашены, изменение не превзошло бы двух процентов и по освещенности не было бы замеченным». На этот довод следует возразить, что если гашение двух ламп было бы связано с изменением отражательной способности стен, то перемена освещения комнаты могла бы все-таки оказаться существенной.

Это возражение основано на том, что, хотя полная радиация Солнца изменяется лишь незначительно, относительное изменение радиации в ультрафиолетовой части спектра, наблюденное Петтитом, весьма велико, где образование озона в атмосфере как раз и возбуждается именно солнечной радиацией. Так как озон имеет весьма сильную полосу поглощения в инфракрасной части спектра, как раз там, где земная атмосфера прозрачна, и куда приходится максимум интен-

сивности земного лучеиспускания в пространство, это может иметь большое значение в смысле влияния на температуру. Кроме того, возможно, что другие косвенные влияния, связанные с ветром и с облачностью, возникают при малых солнечных изменениях. Далее, если бы было показано с достаточной статистической убедительностью, что наиболее существенные метеорологические факторы всегда сопутствуют малым солнечным изменениям, то это не помешало бы использованию этих изменений для предсказания погоды, несмотря на то, что пока мы не можем уложить их в теорию.

Во всяком случае солнечная радиация признается во всех отношениях основным фактором в явлениях погоды и в процессах жизни. Поэтому и те, кто пока еще не убедился в том, что изменения солнечной постоянной вполне достаточны для того, чтобы оказать ощутимое влияние на погоду, искренно сочувствуют продолжению возможно тщательных наблюдений. Только путем вышеуказанных исследований ученый грядущего поколения сможет ответить на вопрос, на который мы теперь ответить бессильны: оказывают ли солнечные изменения существенное влияние на погоду каким-либо закономерным образом.

Климаты геологического прошлого

Общие заключения, основанные на изучении геологических ископаемых, сводятся к тому, что в продолжение почти всего периода, когда на Земле появилась жизнь, температура была выше современной. Это обобщение распространяется и на полярные зоны, так что в ранние века распределение температуры было более равномерным, чем теперь. В различные эпохи, однако, толстый ледяной покров сковывал ныне свободные ото льда области. Наиболее выдающимся из этих явлений был так называемый великий ледниковый период. Он наступил сравнительно недавно, во времена плейстоцена, около того времени, как впервые на сцену появился человек. Этот ледниковый период не являлся непрерывным, он, как обычно считают, со-

стоял из нескольких отдельных ледниковых наступлений, разделенных промежутками, в которых лед отступал назад. Так может оказаться, что мы сами живем в таком временном, благоприятном для жизни интервале. Подобно нашим предкам наши далекие потомки, может быть, будут испытывать суровость нового наступления льда.

В значительно более отдаленном прошлом был пермский ледниковый период, менее продолжительный, чем плейстоценовый. Интересно отметить, что пермской катастрофой были охвачены не полярные и умеренные, а субтропические страны (в этой катастрофе и растения и животные были почти полностью истреблены во всем свете, не столько надвинувшимся льдом, сколько сопровождавшими его засухами в других областях). Главные свидетельства пермского оледенения были обнаружены в Австралии, Южной Африке и Индии, — в странах почти тропической зоны.

Прекрасно известно, что обледенение может произойти в любом месте Земли, лишь бы оно было достаточно высоким над уровнем моря и снабжалось достаточным количеством дождей или снега. Геологи, однако, не находят, чтобы страна, которая была в указанный период охвачена оледенением, должна была возвышаться над общим уровнем. Явление никогда не удавалось объяснить до конца, но гипотез было выдвинуто много. Среди них имеются следующие:

Кролль (Croll) предполагает, что если бы зима в северном полушарии приходилась как раз на время, когда Земля находится на наибольшем расстоянии от Солнца, в эпоху максимального эксцентриситета земной орбиты, то это сопровождалось бы таким изменением положения температурного экватора, которое отклонило бы теплые морские течения, омывающие ныне берега Европы. Такие условия были бы благоприятны для низкой температуры в северном полушарии. В этом случае имеется периодичность около 21 000 лет, так что оледенение двух полушарий разделилось бы интервалом в 10 500 лет. Это, повидимому, слишком часто для удовлетворительного объяснения

явлений эпохи великого оледенения. Подобная гипотеза, конечно, не согласуется с большой длительностью периодов оледенения и не объясняет пермское субтропическое оледенение. Гипотеза Кролля, прежде широко распространенная, теперь имеет второстепенное значение.

Мансон думает, что великое оледенение произошло в то время, когда собственное тепло Земли, которое поддерживало сравнительно однородный климат, стало иссякать и уступило место солнечной радиации, как преобладающему тепловому агенту с его зональным влиянием. Мансон мыслит, что до начала ледникового периода облака отражали и сохраняли тепло Земли, но во время этого периода стали рассеиваться, благодаря увеличению холода и сопровождающего его уменьшения испарения с океанов. Уменьшение толщины облачного слоя позволило Солнцу произвести постепенное потепление климата. Эта остроумная гипотеза не является общепринятой, так как она приписывает преувеличенное влияние запасу внутреннего тепла Земли и задерживающей способности облаков

Аррениус (Arrhenius), а позднее Чемберлин (Chamberlen) развили взгляд, согласно которому причины оледенения состояли в изменении количества углекислоты и водяных паров, содержащихся в воздухе. Углекислота имеет несколько сильных полос поглощения в инфракрасной (около 5 —14 μ) части спектра, где велико лучеиспускание Земли. Было указано, что рост растений и животных, поглощение газов океаном, выветривание скал и действие вулканов стремятся изменить количество углекислоты в атмосфере. Чем меньше углекислоты, тем холоднее на Земле, потому что тогда земное излучение слабее удерживается от рассеяния, между тем как приходящие лучи Солнца, относящиеся по преимуществу к иной области спектра, в которой углекислота не является активным поглотителем, останутся относительно неизменными. Эта остроумная гипотеза с рядом второстепенных обстоятельств имеет много приверженцев, хотя специалисты по излучениям склонны смотреть на нее как на недостаточную. Оказывается, что водяные пары являются

могучим поглотителем в тех частях спектра, куда попадают наиболее эффективные полосы углекислоты, так что в присутствии водяных паров влияние самой углекислоты менее значительно, чем в том случае, если бы она была одна. Вместе с этим полосы углекислоты сами по себе настолько сильны, что изменение количества этого газа в атмосфере не окажет заметного влияния на атмосферное поглощение.

Это наводит на мысль о том, не могло ли изменение количества водяного пара само по себе явиться главным фактором в образовании оледенения. Известно, что относительная величина поверхности суши и моря на земном шаре претерпевала в различные эпохи глубокие изменения. Более того, мы видим, что во многих частях Земли для образования облаков создаются чрезвычайно благоприятные условия вследствие определенных конфигураций суши и моря. Изменения облачности и атмосферной влажности, которые могли произойти вследствие видоизменения суши и моря, несомненно имели значительное влияние на климат. Не менее существенным, может быть, является также изменение направления морских течений, которое должно было произойти при изменении очертаний суши. Хорошо известно большое различие в климате на востоке и на западе северной части Атлантического океана на одинаковых широтах; оно является примером глубокого влияния на климат теплых и холодных морских течений. Имеется другая составная часть атмосферы, о которой мы упоминали выше, могущая оказывать сильное влияние, а именно озон. Это модификация кислорода, образующаяся и разрушающаяся действием различных групп ультрафиолетовых солнечных лучей. В количестве, имеющемся в атмосфере, этот газ образует сильное, но не полное поглощение инфракрасных лучей с длиной волны приблизительно в 10 μ. Оказывается, что эта полоса поглощения озона падает близко к области максимальной интенсивности излучения земной радиации и в ту именно область спектра, где атмосфера сама по себе почти совершенно прозрачна. Опыты Добсона (Dobson) и других показали, что атмосферное содер-

20 Зак. 3633 Л66 т

жание озона разнится сильно в зависимости от места и от времени. Влияние этих вариаций на поглощение земной радиации количественно пока еще не исследовано. Возможно, что оно может вызвать значительные климатические эффекты.

Были сделаны предположения, что изменения в напряжении солнечной радиации имеют главенствующее влияние на изменение геологического климата. Возможно, что значительное увеличение интенсивности солнечной радиации по сравнению с настоящим повлекло бы за собой смягчение полярных климатов, без большого, однако, увеличения температуры тропиков. Предположим, что средняя температура Земли в полярной зоне около 250° абс., а в тропической зоне около 300° абс. Тогда увеличение радиации, которое в силу закона четвертой степени подняло бы среднюю полярную температуру с 250 до 270° абс., подняло бы при прочих равных условиях температуру тропической зоны с 300 до 324° абс. Мы сказали «при прочих равных условиях», но так как повышение тропической температуры повлечет за собой увеличение испарения, а также, почти наверно, увеличение облачности в тропиках, то оно тем самым понизит поступление солнечных лучей благодаря увеличенному отражению. Это ослабит в свою очередь повышение температуры так, что весьма возможно, что температура тропиков стала бы даже ниже, чем на полюсах. С другой стороны, полярные зоны в настоящее время также имеют чрезвычайно высокую облачность, гораздо бо́льшую, чем умеренные зоны. Возможно, что с увеличением температуры полярная облачность частично рассеялась бы, увеличивая поступление солнечных лучей и повышая дальше температурное однообразие.

Чтобы получить непосредственно только что предположенные температурные изменения, солнечная радиация должна была бы увеличиться на 35%. Это значительно, но может быть не чрезмерно, как изменение, падающее на промежуток десятков или сотен миллионов лет. Допустив это, мы, может быть, разрешим проблему общего однообразия мягкости климатов

ранних геологических эр. Однако это увеличило бы трудность объяснения пермского и более ранних оледенений.

Недавно Вегенер (Wegener) предположил, что континенты медленно плавают на вязкой внутренности Земли, так что то, что теперь является областью Индийского океана, окруженной следами пермского оледенения, могло некогда быть полярной областью, покрытой льдом, как теперь континент Антарктики. Это предположение кажется очень радикальным и его одинаково трудно как принять, так и отвергнуть.

Водяной пар, озон, углекислота, очертания суши и возвышенности, ветры, морские течения и солнечная радиация — все являются важными климатологическими переменными, прошлое которых недостаточно известно и эффекты изменения каждой или которой-нибудь из них, конечно, до сих пор количественно не установлены. Ясно, что в настоящее время мы еще далеки от разрешения этой проблемы.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ВЛИЯНИЕ СОЛНЦА НА ЖИЗНЬ РАСТЕНИЙ

Условия, необходимые для жизни растений. — Ассимиляция углерода автотрофными растениями — Этиолирование, или эффект недостатка освещения — География растений — Потребность растений в свете — Гелиотропизм. — Растения как аккумуляторы энергии.

Мир растений столь бесконечно разнообразен своими формами, образом жизни и особенностями своих членов, что невозможно дать в этой главе описания всего разнообразия влияния Солнца на растения. Но высшие растения, те, которые можно видеть в лесах и в полях, и те, которые не только доставляют пищу человеку и животным, но и дают бесчисленные материалы для строительства и искусства, — все эти растения и непосредственно и косвенно во многом зависят от излучения Солнца. Рост растения — это тема, полная случаев удивительных приспособлений, так что трудно было бы не уклониться от описания непосредственного влияния Солнца и не остановиться на некоторых моментах его. Может быть читатель простит несколько таких отклонений.

Условия, необходимые для жизни растений

Высшие растения нуждаются в углероде, кислороде, водороде, азоте, сере, фосфоре, калии, кальции, магнии и железе. Живое растение содержит большой процент воды, но обе составные части последней — водород и кислород — входят также и в виде еще более сложных соединений с углеродом. В отношении способов получения углерода растениями последние могут быть разделены на три группы: 1) автотрофные — самопитающиеся, которые получают угле-

род через свои листья, под влиянием света, из углекислого газа воздуха; 2) сапрофиты или гнилостные, которые заимствуют углерод, хотя бы частично, корнями, из перегнивших растительных и животных организмов; 3) паразиты — питающиеся почти исключительно за счет тех живых растений, к которым они присасываются. Практически же нам придется сосредоточить свое внимание на первой группе растений и при употреблении термина «растение» мы будем подразумевать в дальнейшем вообще автотрофные растения.

В значительной мере растения состоят из воды, и большинство из них в изобилии пользуется ею для своих жизненных процессов. Так, например, большая береза, по фон-Хенелю (von-Hohnel) может испарить в воздух через листья в один день 40[illegible] *л* воды, которая была собрана главным образом корнями из почвы. Если 200 таких деревьев растут на гектаре земли, то количество воды, испаренной ими за летний сезон, может достигнуть 1 500 *т*. Хотя не все деревья и растения в такой же мере, как береза, пользуются водой, но вообще они все нуждаются в ней и зависят в этом от Солнца, которое своим теплом не только поддерживает воду в жидком состоянии, но также является причиной атмосферной циркуляции, вызывающей дожди. Таким образом и поддержание должной температуры и возбуждение дождя являются функциями Солнца, необходимыми для всей жизни на Земле.

Таблица 28

Химический состав пищевых продуктов в процентах

Название	Вода	Жиры	Азотистые вещества	Углеводы	Клетчатка	Зола
Пшеница (зерна)	[illegible]	1,75	[illegible]	67,91	[illegible]	[illegible]
Картофель (клубни)	75,48	0,15	1,95	20,69	0,75	0,98
Свекла столовая	87,61	0,11	1,09	9,26	0,98	0,95
Салат (листья)	94,33	0,31	1,11	2,19	0,73	1,03

Определениями Кёнига (König) был установлен химический состав некоторых обыкновенных растений, указанный в табл. 28 (стр. 309).

Вышеперечисленные химические вещества, необходимые для растений вместе с некоторыми другими обнаруживаются в виде слабых растворов в воде, поглощаемой столь обильно корнями. Мы не можем останавливаться на таких сложных и интересных вопросах, как вопрос поднятия жидкости на верхушки таких колоссальных деревьев, как секвоя и эвкалипт, достигающих иногда высоты до 150 *м*, в которых действие силы тяжести могло бы создать давление внутри корней в 15 *ат*. Достаточно сказать, что различными способами жидкость, полученная из земли, достигает всех частей растения и вода, проходя в изобилии через листья, испаряется. Это называется транспирацией. Углекислота воздуха, вошедшая в растение во время действия на него света, изменяется и соединяется с различными передаваемыми корнями элементами способами, которые будут описаны ниже. Сложные питательные соединения, образующиеся в листьях, спускаются во все живые клеточки стебля и корней и, пройдя дальнейшие превращения, вновь поднимаются весной, чтобы дать толчок росту новых листьев.

Различные элементы оказываются неприемлемыми для растений во всех их химических соединениях, а некоторые из соединений могут быть даже ядовитыми. Не входя в подробности, будет интересно коснуться азота. Этот элемент, находящийся в свободном виде как газ в воздухе, химически почти инертен, и ни одно растение не в состоянии использовать его в его свободном состоянии. Аммиак также, хотя и преобладает как продукт гниения в почве и находится также и в воздухе, не является питательным для большинства высших растений. Нитриты уже в умеренной концентрации считаются ядовитыми, между тем в очень слабых растворах они могут быть полезны. Нитриты же рассматриваются как основные источники азота для автотрофных растений. Сбор урожая в сельском хозяйстве уносит азот из почвы скорее, чем идет его

накопление в обычных условиях. Поэтому в почву вносят удобрения, содержащие селитру. Но бобовые растения, как горох, бобы, клевер, люцерна и др. в состоянии использовать свободный азот, а поэтому для обогащения почвы азотом стало обычным засевать поля этими растениями. Тщательные исследования показали, что в почве существуют микроорганизмы, которые вызывают на корнях бобовых растений образование утолщений и что атмосферный азот усваивается только тогда, когда эти микроорганизмы развиваются в этих утолщениях.

Для успешного произрастания различные виды бобовых требуют разных видов микроорганизмов. Микроорганизмы эти связывают свободный азот в соединения, приемлемые для растений, растения же доставляют микроорганизмам другие вещества, как например, углеводы. Это один из многочисленных случаев, когда высшие растительные формы оказываются зависящими от жизнедеятельности низших и равным образом низшие зависят от высших. Совсем недавно стало возможным на больших складах семян покупать культуры подходящих микроорганизмов с инструкцией для их разведения, так что, засевая поле, например, клевером или люцерной, культуры соответствующих микроорганизмов могут быть примешаны к семенам, вследствие чего появившиеся растения не будут страдать от недостатка азота.

Ассимиляция углерода автотрофными растениями

Многие растения (в том числе злаки и другие наиболее ценные в питательном отношении растения) произрастают почти одинаково хорошо в водных культурах и в культурах почвенных, хотя поступление углерода в первом случае через корни невозможно. Следовательно в этих случаях источником углерода, являющимся главной основой всей органической жизни, должен быть воздух. Если рост происходит в темноте, при сохранении всех остальных условий произрастания, то не происходит значительного использования углерода, и растения остаются белыми,

потому что не образуется хлорофил. Отсюда мы видим, что углекислота воздуха усваивается растениями под влиянием света и используется для образования сложных соединений с водородом и кислородом, как, например, гексозы, сахара, крахмала, а также азотно-углеродных соединений, входящих в состав растения. Для этого процесса в клеточках живого растения необходимы зеленые хлорофильные тельца, а хлорофил, как мы сказали, не образуется в отсутствии света. Кислород же выделяется при химических превращениях и выходит через листья. Процесс поглощения углекислоты и преобразование ее с выделением кислорода, как только что описано, называется ассимиляцией.

Выделение кислорода может быть показано простым способом на срезанной ветке водяного растения канадской элодеи (Elodea canadensis), поместив ее в трубку с водой, насыщенной углекислым газом. Если ее подержать некоторое время на очень слабом свету, ничего особенно заметного не произойдет, но при хорошем освещении будут выходить из обрезанных концов струйки пузырьков газа. Если опрокинуть пробирку, предварительно наполненную водой, то в нее можно собрать этот газ, который, как оказывается, при испытании раскаленным углем, состоит главным образом из кислорода. При помощи подсчета пузырьков, выделяемых таким образом, были произведены количественные опыты и было выяснено, что число пузырьков обычно почти пропорционально интенсивности света. В темноте кислород не образуется, а вместо него развивается углекислота. Этот обратный процесс называется дыханием.

Как уже было указано, главным условием для усвоения углерода является присутствие в растении зеленого вещества — хлорофила. Он находится в большинстве растений почти исключительно в листьях, так что последние являются главными органами ассимиляции углекислоты. Хлорофил в растворе спирта флюоресцирует. На просвет он кажется зеленым, а в свете отраженном кажется красным. Спектр необработанного хлорофила в растворе спирта характе-

ризуется шестью полосами поглощения. Три из них расположены в фиолетовой части спектра и сливаются вместе при сильных растворах хлорофила. Три другие возникают соответственно в зеленой, желтой и красной частях спектра. При обработке спиртового раствора бензолом необработанный хлорофил, который представляет собой смесь разных веществ, дает в растворе бензола сине-зеленую окраску, соответствующую, по видимому, наиболее важной составной части. Последняя в свою очередь является сложным соединением и содержит в числе других составных частей одну, которая называется филлопорфирином, и которая химически лишь немного отличается от гематопорфирина крови. Но как бы ни был любопытен хлорофил, его специальная функция — способствовать усвоению углерода — осуществляется лишь хлорофилом, принадлежащим клеточкам живого растения. Искусственный хлорофил, введенный в клеточки, не вызывает этого эффекта.

Было показано, что на каждый объем углекислоты, обработанный растением, освобождается такой же объем кислорода. Среди основных продуктов реакции имеется глюкоза или крахмал. Эти явления могут заключать в себе несколько процессов, подобных выраженным следующими химическими формулами:

$$6CO_2 + 6H_2O = C_6H_{12}O_6 \text{ (глюкоза)} + 6O_2$$

или

$$6CO_2 + 5H_2O = C_6H_{10}O_5 \text{ (крахмал)} + 6O_2.$$

Легко показать, что образование крахмала идет у многих растений во время действия света, но различные семейства растений сильно различаются между собой по количеству образующегося крахмала. В самом деле, как мы неоднократно увидим, различные растения ведут себя так различно при данных условиях, что трудно установить хотя бы один общий факт который для того или иного вида растений не имел бы исключений. Подобно тому как один человек не поддается лести и поступает только обосновано, в то время как другой действует, как ему диктует его чувство, и растения имеют различный харак

тер, и два вида могут реагировать совершенно противоположно на одно и то же возбуждение.

Органами поглощения углерода являются листья; на листьях имеются маленькие отверстия, называемые устьицами. У большинства растений устьица находятся на нижней поверхности листьев, у некоторых встречаются только на верхней поверхности, у других же — и на верхней и на нижней. Они представляют собою микроскопические щелеобразные отверстия, настолько мелкие, что по сравнению с ними прокол булавки кажется большой дырой. На одном листе подсолнечника помещается не меньше 13 000 000 устьиц. Рис. 88, заимствованный у Швенденера (Schwendener), дает общее понятие о форме и об окружающих частях листа этого ничтожно малого, но необходимого органа у амариллиса. Существуют специальные приспособления для открывания и закрывания устьиц, называемые предохранительными клетками. Когда эти клетки раздуваются от содержания большого количества жидкости, или под влиянием сильного освещения, то заставляют устьице широко открываться — это повышает ассимиляцию углекислоты, а также испарение воды, о чем мы будем говорить позднее.

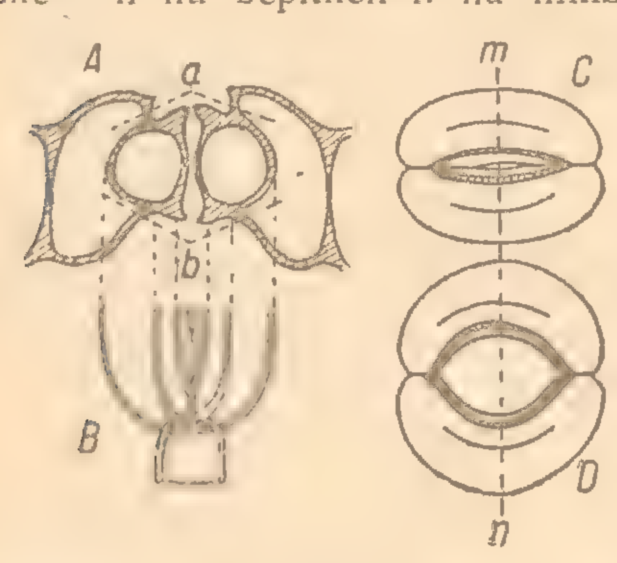


Рис. 88. Устьица (по Швенденеру)
A—поперечное сечение по *mn*, *B*—продольное сечение устьица за исключением его частей, расположенных снаружи от *a* и *b*, *C* и *D*—закрытое и открытое устьица.

Общая площадь многочисленных устьиц, даже широко открытых, едва больше одного процента всей площади листа, поэтому долго было загадкой, как может проходить через них столь большое количество углекислоты. Этот вопрос был разрешен Броуном (Brown) и Эскомбом (Escombe) в 1900 г. Они нашли, что, когда углекислота проникает через отверстия

в среду, способную поглощать углекислоту с той скоростью, с которой она поступает, то количество ее, проникающее через отверстие, уменьшается пропорционально диаметру, а не площади отверстия. Этот кажущийся парадокс объясняется тем предположением, что скорость потока увеличивается с уменьшением отверстия, так что меньшее отверстие воспринимает газ не только непосредственно сверху, но также и с боковых частей поверхности, составлявших раньше часть большого отверстия. Наблюдатели нашли, что их странный новый закон применим к многочисленным отверстиям, а также к отдельным отверстиям при условии, что они разделены расстоянием в 8 или 10 раз большим своего диаметра. Отсюда следует, что сетчатая поверхность листа, имеющая чрезвычайно многочисленные, хотя и мелкие отверстия, может дать столь же быстрое проникновение газа путем диффузии, как если бы вся поверхность была одним сплошным отверстием. Это удивительное открытие заставляет восхищаться этим замечательным приспособлением природы, посредством которого полная поверхность листьев растения оказывается способной добывать питание из воздуха и давать выход водяному пару, хотя в действительности почти вся эта поверхность тщательно закрыта для предохранения внутренних нежных клеточек листа.

Степень усвоения углерода или почти пропорциональное ему увеличение веса сухого растения зависит от различных факторов. Среди них мы прежде всего можем отметить концентрацию углекислоты в воздухе. Хотя по подсчетам Эбермейера (Ebermeyer) один квадратный километр леса использует в год свыше 200 т углекислоты, так что потребность в углекислоте для жизни растений всего мира поистине громадна, тем не менее процентное содержание углекислоты в воздухе почти постоянно и повсюду почти одно и то же: оно составляет 0,0003.

Постоянное истощение углекислоты жизнью растений возмещается образованием ее при дыхании животных, при горении дров и угля и другими источниками, но удивительно, что процентное отношение ее

в атмосфере остается почти неизменным. Геологи отнюдь не придерживаются того мнения, что это отношение всегда было таким же, как в наши дни. Поэтому интересно узнать, как усвоение углекислоты изменяется от изменения ее концентрации. Повидимому, имеются некоторые разногласия между различными исследователями в вопросе об оптимальной концентрации, но они все соглашаются с тем, что скорость ассимиляции углекислоты непрерывно возрастает с концентрацией углекислоты до величины, превышающей ныне существующую по крайней мере в десять раз. При таких концентрациях скорость ассимиляции может быть вдвое больше, чем обычно. По мнению некоторых возрастание ассимиляции даже прямо пропорционально возрастанию концентрации углекислоты в этих пределах. Хотя, конечно, эти изменения не имеют практического интереса, так как содержание углекислоты в воздухе остается постоянным, однако оно могло иметь существенное значение по отношению к растительности прошлых геологических эпох, когда воздух был более насыщен углекислотой.

Еще более важным фактором, регулирующим рост растений, является температура. Ассимиляция может быть замечена у некоторых растений при температуре на несколько градусов ниже точки замерзания, но практически все растущие растения должны пребывать при температурах между 0 и 50°. Возрастание скорости ассимиляции для большинства растений идет очень быстро от 0° до, примерно, 35°, но при более высоких температурах она еще быстрее падает. Интересен вопрос, могли бы произрастать главные растительные виды на какой-нибудь планете, если бы температура была ниже 0° или выше 50°. Хотя мы не можем ответить определенно на этот вопрос, все же представляется вероятным, что ответ должен быть отрицательным. Во всяком случае мы видим, как всесторонне наша собственная жизнь зависит от Солнца и от того замечательного равновесия между получаемой солнечной радиацией и излучением Земли, при котором даже количество водяных паров и облачности являются существенными, как об этом говорилось в предыдущей главе.

Теперь мы рассмотрим зависимость ассимиляции углерода от света, отвлекаясь от рассмотрения других влияний света на рост. Растения, развивающиеся в темноте, не становятся зелеными. Для образования хлорофила и ассимиляции углерода требуется радиация с длиной волны между 0,39 и 0,77 μ. Опыты с относительной эффективностью лучей различных длин волн не совсем еще удовлетворительны. Они ограничивались только несколькими видами растений: много трудностей было встречено здесь, как в физической, так и астрономической работе, при выделении достаточно сильного почти монохроматического луча света и при измерении его интенсивности. Исследования относительной эффективности в различных лучах были произведены около 30 лет назад Рейнке (Reinke) и Энгельманом (Engelmann). Они согласны в том, что длина волны максимального эффекта лежит в красной части спектра, примерно от 0,65 до 0,70 μ, но Энгельман нашел еще второй максимум в синей части спектра при 0,48 μ, который не был обнаружен Рейнке. Наблюдения Энгельмана выявляют разницу между ассимиляцией верхней и нижней сторонами листа, способными к ней, и он находит, что положение максимального эффекта заметно сдвигается в сторону коротких волн для той поверхности, которая получает освещение сквозь лист. Повидимому, этот результат зависит от сильного поглощения красных лучей хлорофилом, потому что свет, который проникает сквозь лист, сильно ослаблен со стороны более длинных волн. Несомненно, что относительная активность различных длин волн света, по отношению к ассимиляции углерода, тесно связана со спектром поглощения хлорофила, что на самом деле и выявилось из результатов Энгельмана, данных на рис. 89. Необходимы еще многие изыскания в этой трудной области. Исследования были бы значительно облегчены введением способа получения почти монохроматического света хорошо определенной и подходящей интенсивности на значительной площади, приспособленной для производства растений при прочих естественных условиях.

Книп (Kniep) и Миндер (Minder) совсем недавно сделали наблюдения с канадской элодеей по методу пузырьков над ассимиляцией углекислоты в лучах различного цвета. Они применяли солнечный свет, пропущенный через окрашенные растворы так, чтобы выделить лучи красные (длина волны 0,62 μ и до некото-

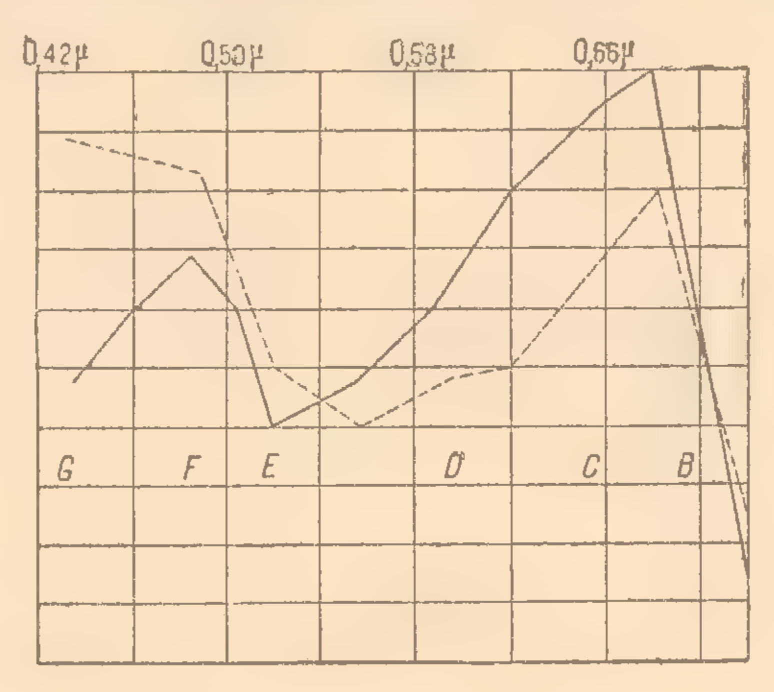


Рис. 89. Зависимость ассимиляции углерода от света (сплошная кривая) и поглощение света (прерывистая кривая) зелеными листьями (Энгельман).

рой неопределенной волны в инфракрасной части), зеленые (от 0,512 до 0,524 μ), или голубые (от 0,35 до 0,50 μ) — по желанию. В каждом из этих случаев свет мог быть ослаблен до определенной интенсивности, измеренной термопарой Рубенса, так что они могли исследовать скорость ассимиляции при равной интенсивности всей радиации для каждого из трех цветов. Они нашли, что зеленый свет не производит эффекта ассимиляции. Результат был такой же, как если бы света совсем не было. Они нашли, что красный и голубой свет обладают одинаковой эффективностью. Таким образом их опыты подтверждают опыты Энгельмана, так как они указывают на сущест-

вование двух областей длин волн, производящих ассимиляцию. Нам придется подождать более полных опытов, прежде чем мы узнаем, как в действительности изменяется эффективность света с длиной волны и все ли растения возбуждаются больше всего одними и теми же лучами. Ясно, однако, что поскольку красный конец спектра преобладает в прямом солнечном свете у поверхности Земли, в то время как фиолетовый конец сильнее преобладает в свете неба, растение должно ассимилировать углерод преимущественно под действием или красного или голубого света, в зависимости от того, растет ли оно под прямым Солнцем или нет. Это может повести к методу развития новых растительных форм, как мы увидим из дальнейшего раздела.

Были произведены опыты для выяснения зависимости ассимиляции от общей интенсивности света, независимо от длины волны. Результаты вполне естественно различались для растений, любящих свет или любящих тень. Вообще скорость ассимиляции углерода прямо пропорциональна интенсивности света, но это отношение, конечно, не может сохраняться для очень высоких интенсивностей, во-первых, потому, что они опасны для растения, и во-вторых, от недостатка других необходимых элементов, особенно углекислоты.

Этиолирование, или эффект недостатка освещения

Растения, растущие в темноте или же при слабом освещении, вытягиваются в стебли с длинными междоузлиями и длинными черенками листьев и имеют маленькие белые или желтые листья. И то, и другое является результатом недостатка света и называется этиолированием. Как было установлено раньше, высшие растения не очень увеличиваются в весе пока они не выставлены на свет, так что опыты влияния совершенной темноты на рост главным образом относятся к тем видам, которые имеют большие питательные запасы в своих семенах. Цель, преследуемая в природе этиолированием, — это вывести листья растений на подходящее освещение, как это видно в густорастущем

берге на вишневом дереве, которое может служить типом широколистных деревьев. Период активности продолжается от середины апреля до середины октября. Он делится на период роста листвы, апрель—сентябрь, период ассимиляции, в который увеличиваются стебли и корни и образуются почки цветов следующего сезона; затем идет период упадка и листопад. В продолжение лета рост почек следующего сезона происходит медленно и прекращается от октября до начала февраля. Затем рост начинается и становится все быстрее и быстрее. Хотя теплый март сильно ускоряет развитие, однако теплый октябрь не может дать толчка к росту. От конца ноября рост может быть усилен тепличными условиями. В период отдыха химические изменения накопленных веществ продолжаются и расходятся по различным частям дерева.

Леса умеренных широт разнятся от описанных лесов полосы тропических дождей отсутствием лиан, паразитирующей растительности и подлеска, хотя в более влажных районах уже нет недостатка в траве и кустах. Вечно зеленые хвойные леса все более и более выступают на первый план с увеличением широты, но они становятся карликами в арктической зоне. Период роста арктической флоры ограничен двумя месяцами, но этому благоприятствует то обстоятельство, что Солнце тогда все время находится над горизонтом. Все виды начинают рост почти одновременно и достигают стадии цветения почти вместе в каких-нибудь две недели. Хотя средняя температура воздуха, в период роста, может быть 5° или выше, почва остается промерзшей почти до поверхности.

Потребность растений в свете

Визнер произвел обширные фотографические изыскания для определения потребности растений в свете. Он применял измененный метод Бунзена и Роско. Нормальная фотографическая бумага приготовлялась погружением в 3-процентный раствор поваренной соли, высушивалась в темноте, погружалась на 5 мин. в 12-процентный раствор азотнокислого серебра, затем

опять высушивалась в темноте. Нормальный тон или степень потемнения приготовлялся покрыванием кусочка бумаги смесью одной части ламповой копоти с 1 000 частями окиси цинка. Когда фотографическая бумага темнеет на свету до такой нормальной степени в течение одной секунды, то интенсивность света принимают за единицу по шкале Бунзена-Роско. Эти авторы показали, что для одинакового почернения фотографической бумаги интенсивность света в широких пределах обратно пропорциональна времени. Отсюда, если n — число секунд, требующихся для получения нормального тона, интенсивность света есть $\frac{1}{n}$ единиц Бунзена-Роско. Для избежания неудобства длинной экспозиции в очень тенистых местах и для получения достаточного времени для точных результатов на сильном свете Визнер ввел градации теней, создав род шкалы тонов, которую он стандартизировал в долях нормального тона.

Таким способом Визнер измерил действие прямого и рассеянного солнечного света в Буйтензорге (Ява), Каире (Египет), Вене (Австрия), нескольких пунктах Норвегии и в Адвентском заливе (Шпицберген). Его измерения были сделаны в дни различной ясности, от безоблачных до дней с дождем и снегом. Измерения в Вене продолжались несколько лет. Он производил наблюдения на открытых местах, в листве древесных крон и в тени густых лесов. Изложения этой обширной работы дать здесь невозможно.

Некоторые из результатов Визнера таковы: максимальное общее освещение в Вене было 1,50 единицы Бунзена-Роско; в Буйтензорге — 1,61. В Вене среднее полуденное значение менялось от 0,1 единиц Бунзена-Роско в январе до 0,96 в июле. В Буйтензорге в декабре и в январе полуденное значение было от 0,65 до 0,85. Дождь или снег снижал общую освещенность до одной десятой или менее ее нормальной величины. В Вене отношение прямого солнечного света к рассеянному свету неба очень различно, но среднее число для нескольких часов около полудня равно почти единице. В полуоблачные дни действие общей осве-

щенности почти так же сильно, как и в безоблачные дни. При полной облачности, но без дождя, общее действие света снижалось от трех до пяти раз.

Принимая общее действие прямого и рассеянного света на открытом месте за основу подсчета, Визнер сравнивает с ним действие света, найденное в кронах деревьев и в других местах. Обозначая первую величину через I, вторую через i, он называет отношение $\frac{i}{I} = L$ *фотоотношением*. Когда весной начинают развертываться листья, то пока они еще не выросли настолько, чтобы дать густую тень, значения L в древесной кроне и под деревьями немного меньше единицы. Но позднее, летом, когда листья выросли вполне и уже образуются почки листьев следующего сезона, это отношение становится значительно меньше. Так, для белой березы (Betula alba) Визнер находит:

Месяц и число	Наблюденное I		Дневной минимум L
	полный дневной свет	в кроне дерева	
Апреля 16 .	0,834	0,333	$\frac{1}{2,5}$
Мая 1 . .	0,875	0,219	$\frac{1}{4}$
Мая 14 . .	1,122	0,142	$\frac{1}{8}$
Мая 29 . .	1,200	0,109	$\frac{1}{11}$

Это быстрое увеличение затемненности деревьями в лесу, когда у них развиваются листья, определяет природу и особенности подлеска. Обычно листья растений подлеска представляют собой разбросанный плоский ковер с тем, чтобы не затемнять один другого. Зачастую подлесок обладает способностью быстро развивать листья и цветет ранней весной до полного развития листвы.

В арктических областях растительность почти без исключения использует весь имеющийся свет. Это зависит, без сомнения, от низкой температуры и от краткости сезона роста. Значения L, значительно меньшие единицы, представляются недостаточными для арктических растений. Этим можно объяснить отсутствие там деревьев. В то время как под тропиками и даже в умеренных зонах большинство растений обладает способностью уменьшать действие света на свои листья, в холодных районах таких приспособлений нет.

Порядок величины требуемого освещения указан следующими значениями фотоотношения и общего действия света внутри кроны деревьев при полной листве. Обозначение (макс) и (мин.) относится к максимуму и минимуму суточного значения рассматриваемых величин.

Названия	L (мин.)	I (макс.)	Примечания
Самшит	$\frac{1}{108}$	0,012	—
Бук	$\frac{1}{85}$	0,015	Отдельное дерево
Клен	$\frac{1}{43}$	0,030	Отдельное дерево
Тополь белый	$\frac{1}{15}$	0,086	Отдельное дерево
Сосна	$\frac{1}{11}$	0,118	Дерево в лесу
Береза белая	$\frac{1}{9}$	0,144	" " "
Ясень	$\frac{1}{5,8}$	0,224	" " "
Лиственница	$\frac{1}{5}$	0,260	Отдельное дерево
Терновник	$\frac{1}{1,3}$	0,722	Цветущий, но без листьев

Среди наземных растений, растущих в тени, настолько густой, что $L = 1/50$, попадаются бук, клен и другие хорошо растущие молодые деревца. Найдены травы в умеренной зоне при $L = 1/60$, хотя не цветущие. Некоторые тропические травы выдерживают $L = 1/100$. Лишайник был найден под тропиками при фотоотношении всего лишь в $L = 1/250$. Многие виды тропических орхидей и других любящих тень растений были найдены произрастающими при фотоотношении от $1/10$ до $1/50$.

Мы не можем останавливаться дольше на интересной работе Визнера. Из нее мы видим, что для многих видов растений не является необходимым, чтобы свет обладал полной интенсивностью, которую он способен дать в открытом месте. Визнер замечает, что при опытах, сделанных с поворачиванием растений так, чтобы уравнять освещение, почки развиваются и листья вполне вырастают при освещении, значительно слабее минимального освещения, наблюдаемого в естественных условиях. В естественных условиях хорошо освещенные почки растут за счет своих менее счастливых соседей и, когда листья развертываются, они стремятся еще больше подавить недоразвившиеся почки. Ввиду всего этого и исходя из второй гипотезы, выдвинутой в гл. VI и VII, заключающейся в том, что в прежние времена господствовало более однообразное освещение, можно предположить, что пышная растительность каменноугольной эры произрастала при несравненно более слабом освещении, чем то, которое господствует в наше время.

Принимая во внимание существующий пробел в опытах над влиянием света различной длины волны на возбуждение роста растений, — фотографические опыты Визнера это, пожалуй, все, что пока имеется. Но мы легко можем представить себе достижения, которые получились бы в физиологии растений, если бы мог быть умело применен такой инструмент, как спектроболометр для определения зависимости ассимиляции углерода и явлений этиолирования от длины волны и от интенсивности света для различных видов растений.

Гелиотропизм

Известно, что различные растения отличаются в отношении тех углов, под которыми их органы обращены к направлению наиболее сильного света. Например, настурция, если она освещается главным образом в одном направлении, то почти все листья будут обращены лицом по направлению к свету. Растения в комнате тянутся к окну. Некоторые виды растений, которые растут в сухих и безоблачных областях, под наиболее сильный свет подставляют свои листья боком, Такие случаи приспособляемости, как только что указанные и подобные им другие, называются гелиотропизмом. Разные органы растений различаются в этом отношении, так что ботаник различает ортотропические или плагиотропические органы соответственно с тем, стремятся ли они расположиться по направлению главного освещения или под тем или иным углом к нему.

Кроме того, ортотропические органы могут быть положительно гелиотропичны, т. е. расти по направлению к источнику света, или наоборот. Корни обычно отрицательно, а стебли положительно ортотропичны, в то время как листья могут рассматриваться как плагиотропичные.

Де-Кандолль (De Candolle) в 1832 г. высказал предположение, что гелиотропизм есть простое следствие различной быстроты роста сильно и слабо освещенных частей органов. Было найдено (как уже упомянуто в отделе об этиолировании), что те стебли, которые растут в темноте, превосходят по длине растущие на свету. Более того, было показано, что растения увеличиваются в росте ночью быстрее, чем днем. Смотри, например, следующие измерения Крауса (Kraus) над ростом некоторых видов бамбука в Буйтензорге на Яве, через 12-часовые интервалы (см. табл. на стр. 328).

На этих основаниях де-Кандолль принимает, что гелиотропическое изгибание растений является просто эффектом замедляющего действия света на рост с той стороны, где стебель наиболее сильно освещен. Это простое объяснение может иметь некоторое обоснова-

Дата	Дек. 4		Дек. 5		Дек. 6		Дек. 7		Дек. 8
Рост за день	10,5 *см*		4,5 *см*		8 *см*		8,5 *см*		12 *см*
Рост за ночь		16 *см*		15 *см*		16 *см*		12,5 *см*	

ние, но оно не достаточно для объяснения всех фактов; так, например, органы растений, которые отгибаются от света, также растут быстрее в темноте. Более того, одни и те же органы могут реагировать и положительно, и отрицательно или совсем не реагировать, в зависимости от интенсивности освещения, как показано опытами Ольтманса (Oltmans). Этот автор считает, что наилучшая сила освещения для общего благосостояния организма — это та, которая не вызывает гелиотропических изгибаний. Прямой солнечный свет слишком ярок для возбуждения гелиотропных искривлений у большинства растений, поэтому растения, как правило, не поворачивают своих листьев с востока на запад с движением Солнца, хотя в случае подсолнечника это происходит с его цветами.

Повидимому, освещение служит скорее стимулом, чем силой, производящей гелиотропизм, потому что этот эффект может быть достигнут действием краткого освещения, и действительное изгибание произойдет в надлежащем направлении после прекращения света. Реакция не обязательно наступает там, где действует свет; стимул может быть передан на некоторое расстояние от чувствительного воспринимающего органа к месту, где происходит изгибание, хотя изгибающаяся часть органа совершенно заслонена от действия света.

Гелиотропизм без сомнения имеет большое значение для растений, так как он делает их способными располагать листья более выгодно для увеличения или уменьшения освещенности, при которой они сами находятся. Это особенно важно для многих сложнолистных растений, подверженных сильному нагревающему действию прямых лучей яркого Солнца. Они откры-

вают свои листья ранним утром или во время облачной погоды и наклоняют их боком на солнцепеке, что уменьшает эффективность площади нагревания. Такие растения, хотя и с большой площадью листа, могут выносить самые сухие области. У других растений их листья расположены неизменно под таким углом, чтобы получать минимум прямого солнечного света.

С другой стороны, многие растения произрастают при сравнительно слабом освещении, а некоторые солнцелюбивые растения на открытых местах поворачивают широкую сторону листа по направлению к самому сильному свету. Отрицательный гелиотропизм корней растения выгоден тем, что спасает корни от вылезания из почвы.

Растения как аккумуляторы энергии

Энергия, используемая теперь в угле и в нефти, была удачным образом припасена для наших нужд в растительных отложениях прежних геологических эпох. Полагают, что необыкновенно обильная растительность существовала в те древние времена, и мы теперь используем накопленную энергию солнечных лучей, излученных задолго до появления человека. Изложение попытки искусственного использования солнечной энергии при помощи машин отнесено к следующей главе, но ни одна из этих попыток не может пока сравниться в отношении экономии с естественным процессом накопления, постоянно происходящего при росте растений. Искусственные процессы могут быть на короткое время даже значительно более эффективными, но не пропорционально их высокой цене, и ни один из них не накопляет получаемую энергию подобно естественному процессу. Большинство солнечных двигателей преобразует солнечную радиацию непосредственно в тепло, а оно постепенно теряется. Рост растений преобразует солнечную радиацию непосредственно в химическую энергию, а она может сохраняться неограниченное время.

Были сделаны различные попытки определить коэфициент полезного действия растений как преобразователя энергии Пфеффер (Pfeffer) в 1871 г подсчитал,

на основании работы Бусенго (Boussingault), что квадратный метр поверхности листьев олеандра образует крахмал со скоростью 0,000535 граммов в секунду. Принимая, что теплота горения полученного соединения равна 4 100 калориям на грамм, он нашел, что 2,2 калорий на 1 $м^2$ в секунду есть количество консервируемой энергии. Количество энергии, получаемое от Солнца, зависит от времени суток, наклона листьев, от влажности и т. д., но может быть оценено примерно в 150 калорий на 1 $м^2$ в секунду при обычных условиях на уровне моря. Это дает коэфициент полезного действия около 1,5%.

Броун подвел итоги нескольким тщательным опытам над коэфициентом полезного действия подсолнечника. Он произвел оценку температуры поверхности листа и его теплового излучения. Последнее в спокойном воздухе оказалось около 0,015 калорий на 1 $см^2$ поверхности листа при разности температур с окружающим пространством в 1°. Листья выделяют в темноте углекислоту при нормальном процессе дыхания. Листом подсолнечника выдыхается в час 0,7 $см^3$ углекислоты на 100 $см^2$, дыхание поднимает температуру листа в спокойном воздухе на 0°,0,19 выше температуры окружающего пространства. Этот эффект практически, разумеется, ничтожен. Иной эффект имеет выдыхание и испарение воды, особенно при ветре, когда температура листа может отличаться от окружающего пространства на несколько градусов. Был определен коэфициент поглощения листьев у различных растений в условиях обычного солнечного освещения. Он колебался между 65 и 78%, и для листа подсолнечника он оказался 68%. Эти значения, вероятно, должны различаться в зависимости от изменения количества света. Была измерена скорость поглощения углекислоты растением. Воздух был пропущен через застекленный ящик, содержащий испытываемый лист, и содержание углекислоты после прохождения было сравнено с ее содержанием в воздухе, не подвергавшемся действию растения. Испытаны были различные концентрации углекислоты, и оказалось, что при концентрации, в шесть раз превосходящей нормальную,

скорость ассимиляции была пропорциональна концентрации углекислоты в воздухе. Было признано, что вещество, образованное растением, было гексозой, теплота образования которой равна 3 760 калориям на грамм. Скорость ассимиляции оказалась не зависящей от интенсивности света, пока последняя не уменьшалась ниже 0,04 калорий на 1 *см*² в минуту, т. е. ниже 4% яркости обычного солнечного света. При слабом освещении коэфициент полезного действия растения оказался значительно выше. В некоторых случаях коэфициент полезного действия достигал 5%, но чаще всего был не выше 1,7%.

Таблица 29

Баланс энергии, получаемой подсолнечником

Вид энергии и т. п.	Первый случай	Второй случай
Получено солнечной радиации	0,2569 *кал*	0,2746 *кал*
Количество поглощенной энергии . .	0,1762 „	0,1884 „
Количество энергии, потребленной для испарения воды	0,1243 „	0,3668 „
Количество воды, потребленной для фотосинтеза	0,0017 „	0,0033 „
Потеря энергии через охлаждение . .	+0,0502 „	−0,1817 „
Скорость ветра в метрах в минуту . .	428	200
Температура листа над окружающим пространством	+0°,43 Ц	− 1°,84 Ц
Энергия, потребленная для фотосинтеза	0,66%	0,72%
„ „ на дыхание . . .	48,39 „	80,38 „
„ прошедшая сквозь листья .	31,40 „	18,90 „
„ потерянная в пространстве .	19,55 „	—

Два числовых примера иллюстрируют характер результатов. Оба получены с листом подсолнечника. В первом случае активность листа была недостаточна для того, чтобы использовать всю поглощенную им солнечную энергию, и температура листа была выше температуры окружающего пространства. Во втором случае, благодаря высокой температуре, вполне открытым устьицам и низкой влажности, происходило быст-

рое испарение и наступало противоположное состояние. Числа, приведенные в первой части табл. 29, представляют энергию реакции на 1 *см*² поверхности листа в минуту. В последней части таблицы даны отложения листа в процентах полученной солнечной энергии плюс тепловая энергия, полученная из окружающего пространства.

Из таких исследований оказалось, что растение накопляет в виде химической энергии в круглых цифрах один или два процента падающей на их листья солнечной радиации. Может показаться, что этот коэфициент полезного действия очень мал, но и при таком коэфициенте была накоплена в предыдущие эпохи энергия, от которой зависят большие успехи производства и теплый зимний уют на долгие годы. Используя силы воды и электричества, мы до некоторой степени освобождаемся от зависимости от угля и пара, но все же несомненно, что еще долгое время уголь и нефть будут широко потребляться, тем самым напоминая о нашей зависимости от древней растительности и от преобразования ею солнечной радиации в химическую энергию.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Опыты с зажигательными зеркалами. — Принцип «горячего ящика». — Мушо, Пифр и Эриксон. — Солнечные двигатели Энея. — Свойства стекла. — Солнечные нагреватели и хранилища солнечного тепла.—Солнечные двигатели низкой температуры.— Солнечная кухня. — Резюме. — Количество солнечной энергии.— Термодинамический коэфициент полезного действия. — Отражательная способность зеркальных поверхностей.

В настоящее время мировая промышленность и экономика развиваются главным образом за счет паровых двигателей или двигателей внутреннего сгорания, топливом для которых служат продукты гниения доисторических масс растительности, сохранившие небольшую долю солнечной энергии тех далеких времен. Современное широкое развитие применения силы воды для получения электричества также зависит от Солнца. Благодаря нагреванию Солнцем вода испаряется из океанов, озер, рек и почвы, переносится на материки и падает обратно в виде осадков, вследствие атмосферной циркуляции, поддерживаемой солнечным теплом; энергия воды используется, когда последняя течет в реках. Другой мощный источник энергии воды, до сих пор широко не используемый, заключается в волнах океана и в приливах и отливах, которые также в значительной степени зависят от Солнца. Мы не считаем нужным обсуждать здесь подробно эти хорошо известные источники энергии и переходим к различным способам, которые предполагают более непосредственное использование энергии солнечных лучей.

Опыты с зажигательными зеркалами

Говорят, что во время осады Сиракуз в 214 г. до нашей эры знаменитый философ Архимед сжег или

рассеял римский флот под начальством Марцелла, сконцентрировав на кораблях солнечные лучи при помощи установленных на берегу зеркал. Правдивость этой истории весьма сомнительна. Такой способ ведения войны, конечно, неприменим в наше время.

Французский натуралист Бюффон (Buffon) (1707—1788) проверил возможность только что описанного способа Архимеда. В 1747 г. он произвел много опытов с большим зажигательным зеркалом, составленным из 360 плоских стеклянных зеркал размером 16 · 22 *см*, установленных на раме таким образом, что каждое из них можно было регулировать в отдельности и лучи, отраженные каждым из них, могли быть все собраны в некотором фокусе на любом расстоянии. Соответственно с угловым диаметром Солнца пучок собранных лучей имел в фокусе 44 *см* в диаметре при расстоянии 50 *м* и пропорционально меньше при более коротком фокусном расстоянии. Бюффон пришел к заключению, что возможно зажечь дерево на расстоянии 68 *м*. С 45 зеркалами он расплавил 3 *кг* олова в горшке на расстоянии 6,5 *м*, а с 117 зеркалами расплавил на том же расстоянии серебро. Этими опытами он доказал возможность победы, приписываемой Архимеду.

В 1755 г. дрезденский машиностроитель Хёзен (Hösen) начал конструировать зеркала параболической формы. Одно из них имело в диаметре больше 3 *м* и было настолько хорошо сделано, что пучок солнечных лучей в фокусе суживался до 1,3 *см*. С одним из зеркал Хёзена с диаметром, вдвое меньшим, Вольф выплавлял металлы из многих руд и почти мгновенно расплавлял монеты.

Принцип «горячего ящика»

Швейцарский натуралист Соссюр (Saussure) (1740—1799) сделал пять стеклянных полукубов такого размера, чтобы они входили один в другой, оставляя между стенками небольшое пространство, заполненное воздухом. Они были опрокинуты на почерненную подставку, непроводящую тепло. Между сосудами и

на воздухе вне их были установлены термометры. Термометр между четвертым и пятым сосудами показал самую высокую температуру 87,5° Ц. В более поздних опытах с покрытыми стеклом сосудами Соссюр предохранил от охлаждения боковые и задние стенки сосуда, покрыв их нетеплопроводным материалом. Когда сосуд был выставлен перпендикулярно лучам Солнца, то в одном случае температура внутри достигла 110° Ц. Во время одного из своих опытов Соссюр нагревал окружающую среду, поддерживая ее температуру чуть ниже температуры внутреннего пространства, и тем самым практически устранил потери тепла, за исключением потерь через переднюю сторону. Таким путем он получил внутри температуру в 160° Ц. Опыты привели его к тому убеждению, что два или самое большее три листа стекла над таким «горячим ящиком» лучше, чем большое число их. Он сделал несколько попыток готовить пищу при помощи таких приспособлений.

Джон Гершель описывает следующие опыты, произведенные им во время его пребывания на мысе Доброй Надежды в 1834—1838 гг.

«Если тепло, получаемое от Солнца, огородить и предохранить от потери, ускоряя таким образом его накопление, то можно получить очень высокую температуру. Таким образом в небольшом ящике красного дерева, зачерненном изнутри, покрытом сверху оконным стеклом соответствующего размера, но без замазки, и просто выставленном перпендикулярно к направлению солнечных лучей, помещенный внутри термометр показал 23 ноября 1837 г. 65° Ц; 24 ноября — 63, 66, 67° и т. д. Когда ящик был обсыпан песком для предохранения его от соприкосновения с холодным воздухом, температура 3 декабря 1837 г. поднялась до 81°. А когда тот же самый ящик, с заключенным внутри него термометром, был установлен под внешней деревянной рамой, хорошо закрыт песком по сторонам и защищен листом оконного стекла (в добавление к тому, который находился внутри ящика), то 3 декабря 1837 г. в 1 ч 30 м дня была получена температура 97°; в 1 ч 50 м — 103° и в 2 ч 44 м —

103°,5 при наличии свежего ветра. В продолжение 5 декабря при повторении этого опыта наблюдались следующие температуры: в 10 ч 19 м —107°, в 12 ч 29 м —110°, в 1 ч 15 м дня —115°, в 1 ч 57 м —120° и в 2 ч 57 м —116°. Так как эти температуры намного превышают температуру кипения воды, было проделано несколько опытов; яйца, фрукты, мясо и т. д. таким же образом выставлялись под действие солнечных лучей (21 декабря 1837 г.) и все, после определенного промежутка времени, оказалось прекрасно приготовленным: яйца были круты с рассыпчатым желтком. Однажды было приготовлено вполне приличное тушеное мясо и овощи, которые не без удовольствия были съедены присутствующими. Я не сомневаюсь в том, что, увеличив число сосудов, сделав их внутри из черненой меди, изолировав их от контакта друг с другом подставками из древесного угля, окружив внешний сосуд хлопком и обсыпав его сухим песком, можно свободно получить температуру, близкую к воспламенению без применения линз».

Мушо, Пифр и Эриксон

Французский ученый Август Мушо (Mouchot) был самым крупным пионером в деле использования солнечного тепла. Он начал свои опыты до 1860 г. и продолжал их около 20 лет при содействии со стороны французского правительства. Он сконструировал приспособления для солнечной кухни, а позднее большие машины для накачивания воды, которые он установил в Алжире. В 1869 г. Мушо напечатал статью под названием «Солнечное тепло и его применения в промышленности». Второе издание этой работы появилось в 1879 г. Он дает историю вопроса, описывает много применений солнечного тепла и подводит итоги своей собственной работе, включая иллюстрированные описания своих больших солнечных двигателей и доклад о своей поездке в Алжир для установки в районах пустыни государственных насосных станций, приводимых в действие солнечными машинами.

Солнечные нагреватели, кроме обычного типа Мушо с коническим или параболическим рефлектором и заключенным в стекло трубочным котлом, создавались также по проектам Пифра (Pifre). Одна из таких машин была выставлена в парке Тюльери в Париже в 1882 г. В соединении с паровой и печатной машинами и солнечной энергией было напечатано много экземпляров журнала под названием «Journal du Soleil» («Солнечный журнал»).

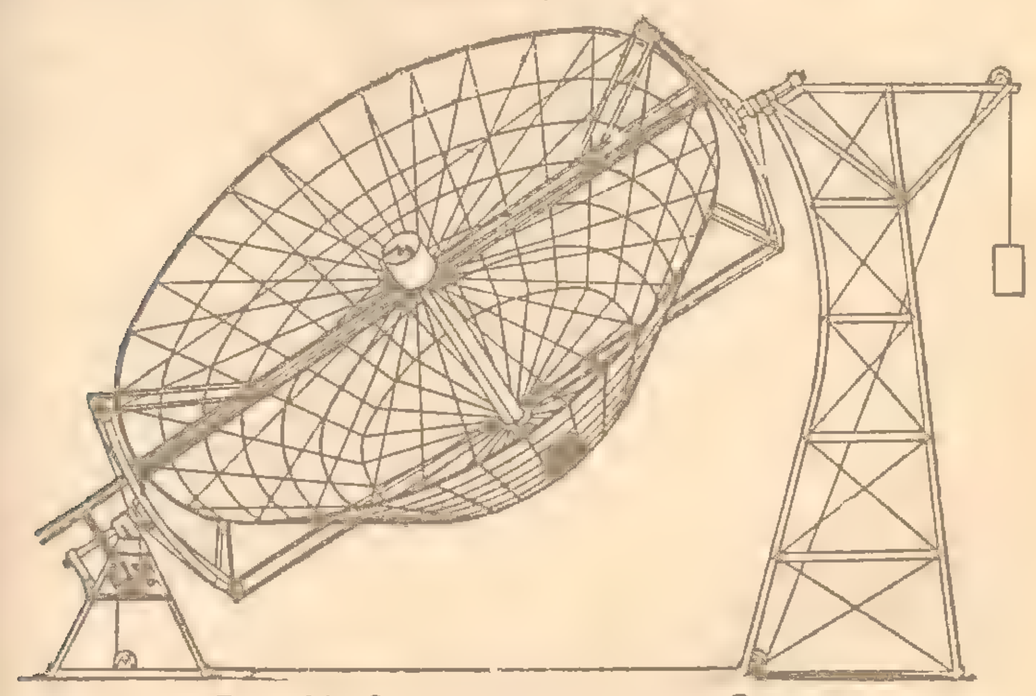


Рис. 90. Солнечный двигатель Энея.

В Америке капитан Джон Эриксон (Ericsson), изобретатель знаменитого военного судна типа «Монитор», изобрел несколько солнечных машин в промежутках с 1868 до 1886 г. Он применял цилиндрическое зеркало параболического поперечного сечения для концентрации лучей на трубке котла. Машина мощностью в 2,5 *л. с.*, приводимая в действие одним из его солнечных нагревателей, в продолжение нескольких лет демонстрировалась в Нью-Иорке на выставке Американского института.

Солнечные двигатели Энея

На рис. 90 изображен солнечный двигатель Энея (Eneas), на конструкцию которого им были получены

два американских патента 1901 г. Один из его солнечных двигателей применялся некоторое время для накачивания воды на ферме Каустон для разведения страусов, около Пасадены, в Калифорнии, а другие применялись в Аризоне. Зеркало состоит из фасеток посеребренного стекла, установленных на внутренней поверхности пустотелого усеченного конуса, грани которого составляют с осью угол в 45°. Большой диаметр конуса делался чаще всего в 9,8 *м*, а в некоторых случаях достигал 11 *м*. Заметное преимущество имеет открытый нижний конец зеркала, что в значительной степени уменьшает напор ветра; к тому же отсутствующая часть конуса мало нужна для собирания тепла. Монтировка, описанная в первом патенте, была ни экваториальной, ни азимутальной, но во втором патенте она была снабжена экваториальной установкой. Прибор снабжен парусиновым чехлом для защиты от дождя. Интересной особенностью является конструкция котла, показанная на рис. 91. Солнечные лучи собираются в фокусе на трубке *F*, а расширенные части f^1 и f^2 находятся соответственно выше или ниже области фокуса. Верхняя расширенная часть является резервуаром для пара и воды, а нижняя — камерой осаждения для удаления из воды посторонних веществ. Две концентрические медные трубки *f* и f^3, соединяют две расширенных камеры, так что вода стекает по *f* и поднимается по f^3, последняя, конечно, горячее. Трубка f^3 заключена в одну или несколько стеклянных трубок f^{11}, f^{12}, целью которых является предотвращение потери тепла из f^3, оставляя доступ солнечным лучам.

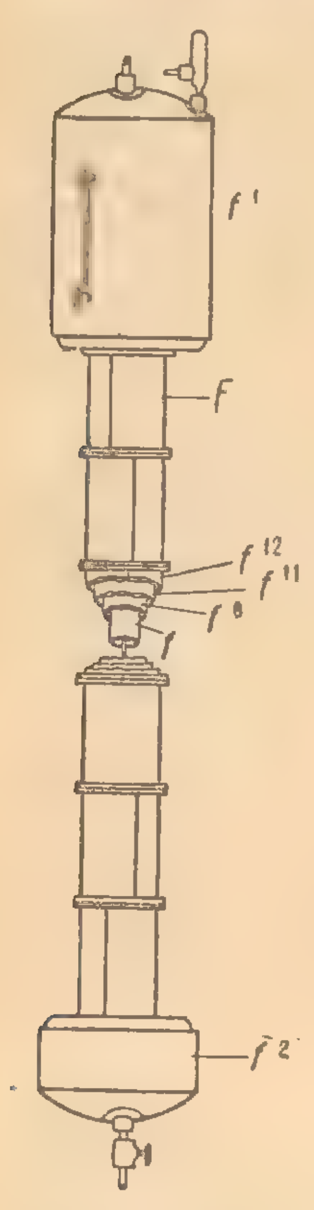


Рис. 91. Котел солнечного двигателя Энея.

Эней был настолько любезен, что сообщил мне следующие детали относительно конструкции своих машин и их коэфициента полезного действия в работе.

«В результате проделанных мною испытаний с девятью различными типами больших рефлекторов я считаю: 1) что с зеркалами с усовершенствованными деталями приблизительно 3,90 британских тепловых единиц на квадратный фут в минуту является наибольшим количеством тепла, получаемым в полуденное время в Аризоне и в других безоблачных районах с такой же широтой *; 2) что лучший прогресс использования солнечного тепла для получения мощности с коммерческой точки зрения может быть получен таким путем, как это описано в журнале «Engineering News» от 13 мая 1909 г.».

Если принять за максимальную радиацию Солнца для Аризоны 1,4 калорий на 1 $см^2$ в минуту и взять по данным Энея 3,71 британской тепловой единицы на квадратный фут за «наибольшее количество тепла, полученное во время испытания», то мы получим, что около 72% солнечной радиации было превращено в теплоту пара. Приведенный выше максимум (3,90 б. т. е.) соответствует 76%. Это весьма удовлетворительный результат. Максимальное достигнутое давление пара соответствует температуре около 185° Ц.

Свойства стекла

Применение одного или нескольких стеклянных футляров, как дополнение к котлу солнечного двигателя Энея, аналогично применению его садовниками в парниках. Стекло свободно пропускает радиацию от ультрафиолетовой с длиной волны 0,37 μ до инфракрасной в 2,5 μ. Этот диапазон, как показано на рис. 32 (стр. 112), включает почти всю солнечную ра-

---

* Британская тепловая единица (б. т. е.) равна количеству тепла, необходимому для повышения температуры одного английского фунта воды на один градус Фаренгейта. В переводе на калории 1 б., т. е. равняется 252 *кал.* Отсюда приведенное выше число — 3,90 б. т. е. на квадратный фут эквивалентно 1,06 калорий на 1 $см^2$ в минуту. — *Прим. ред.*

диацию. Введение одной тонкой стеклянной пластинки на пути луча солнечного света уменьшает его интенсивность приблизительно на 15%. Это уменьшение обязано главным образом отражению. Лучи, испускаемые внешней стороной котла, если считать его температуру в 500° абс., имеют длину волны максимальной интенсивности около 6 μ и почти полностью задерживаются стеклом от прямой потери через лучеиспускание. Значительная часть претерпевает «металлическое отражение» от стекла обратно на трубку котла, а остальная часть, поглощенная самим стеклом, поднимает его температуру и температуру воздушного пространства и тем самым ослабляет конвекцию от котла к стеклу. Кроме того, стекло предохраняет котел от дуновения ветра и преграждает всякую непосредственную конвекцию тепла с наружным воздухом, что является столь же важной функцией, как и удерживание идущей извне радиации. Таким образом применение стекла значительно повышает эффективность прибора, потому что оно значительно повышает температуру котла. Ниже мы отметим связь между температурой и возможным термодинамическим коэфициентом полезного действия двигателя.

Мы уже приводили интересный рассказ Джона Гершеля об обеде, приготовленном им под стеклом при помощи солнечного тепла. Ланглэи был чрезвычайно заинтересован этой историей и построил несколько «горячих ящиков», основываясь на том же принципе. Проект одного из них составлял автор. Ящик состоял из двух круглых пустых деревянных коробок, внутренняя с диаметром в 50 *см*, внешняя в 60 *см*, помещенных концентрически одна в другую, и каждая покрыта плотно прилегающей стеклянной пластинкой. Кроме того, коробки были защищены со всех боков и со дна наружной коробки слоем перьев около 10 *см* толщиной. Внутренняя коробка имела зачерненный металлический лист около дна, а немного над ним был подвешен зачерненный термометр. Весь прибор был монтирован экваториально и поддерживался направленным на Солнце. 4 ноября 1897 г. в Вашингтоне, при работе с тремя стеклянными пластинками, термо-

метр поднялся до 118° Ц, в то время как температура снаружи была 16° Ц.

Возникает вопрос, достижима ли практически значительно более высокая температура подобным путем, без применения зеркал или линз, концентрирующих тепло. Может быть при лучшей конструкции будет возможно с помощью такого приспособления достичь даже 200° Ц. Предельная температура достигается, когда вводимое солнечное тепло уравновешивается потерей тепла вследствие теплопроводности стекол и изолирующего материала. Эффективные потери уменьшаются с возрастанием толщины изолирующего материала, с увеличением площади «горячего ящика» и с увеличением числа стеклянных пластинок. Но, к сожалению, увеличение числа стеклянных пластинок уменьшает количество солнечной радиации, проникающей во внутреннюю камеру, так что, как нашел Соссюр, наилучшие результаты получаются при двух или трех стеклах. Автором были получены следующие результаты путем последовательного введения на пути луча солнечного света, падающего перпендикулярно и под углом падения в 45°, последовательного ряда пластинок обыкновенного стекла толщиной от 1,5 до 2,0 *мм*, применяемого для фотографических пластинок, и пластинок в 8—10 *мм* толщиной, применяемых для покрышки прибора:

Прозрачность стеклянных пластинок в процентах

Угол падения	0°				45°			
Число пластинок	1	2	3	4	1	2	3	4
Тонкие стекла	86,5	74,5	63,5	53,3	85,0	71,8	60,0	49,0
Толстые стекла	79	64	50	39	—	—	—	—

Солнечные нагреватели и хранилища солнечного тепла

Американский патент № 230323 от 20 июля 1880 г. был выдан Молера (Molera) и Себриану (Cebrian), ко

торые предложили исключить дорогие и сложные оптические приборы для концентрации солнечного тепла, применяемые Мушо, Эриксоном и др., и даже механические приспособления для направления нагревателя широкой стороной к Солнцу. Они предложили горизонтальный котел, состоящий или из большого числа зачерненных трубок, помещенных рядом, или из двух пластинок, заключающих тонкий слой жидкости и сообщающихся в обоих случаях с соответствующим двигателем, сконструированным для работы при низких температурах. Изобретатели не упоминают о стеклянной крышке для своего котла, но ее введение, несомненно, значительно повысило бы эффективность их аппарата.

В Южной Калифорнии и, несомненно, и в других местах, широко распространена установка на крыше зданий ряда водяных баков, предохраненных внизу нетеплопроводным материалом, покрытых сверху стеклом; эти баки сообщаются с трубопроводом ванны и служат для снабжения ее горячей водой. Такие приспособления обычно доставляют значительное количество воды, более горячей, чем терпит рука, и в жаркую погоду устраняют неудобства, связанные с употреблением огня.

Во всех странах Солнце закрывается на более или менее долгий промежуток времени облаками и заходит на ночь. Поэтому различные изобретатели предложили комбинировать приспособления для собирания солнечного тепла с большим резервуаром для сохранения тепла, представляющим обычно водяной бак, с непроводящими стенками, и располагающимися выше уровня нагревателя, с которым он соединяется трубами. В американском патенте № 784005 от 28 февраля 1905 г., выданным Кетчуму (Ketchum), описано такое устройство в соединении с испаряющей камерой, расположенной внутри резервуара, и содержащей испаряющуюся жидкость, годную для приведения в действие двигателя низкой температуры. В случае очень продолжительной облачности, изобретатель предлагает также печь для нагревания резервуара независимо от Солнца.

Солнечные двигатели низкой температуры

Между 1900 и 1901 гг. были сделаны по крайней мере две серьезные попытки изобретения способов, экономичных в коммерческом отношении, применения принципа «горячего ящика». Обе серии опытов описаны в «Engineering News» от 13 мая 1909 г., на которые ссылался Энеи. Изобретателями являются Шуман (Schuman) (Филадельфия) и Уилльси (Willsie) и Бойль (Boyl) (Кранфорд, Нью-Джерсей). Шумановский поглотитель тепла представляет собой ровный, твердый, гладкий участок земли, сделанный водонепроницаемым благодаря асфальтированию и окруженный досчатыми стенками, возвышающимися на несколько дюймов над его уровнем. В этот водоем наливается вода до высоты 7—8 *см*, а сверх нее находится тонкий слой парафина, который, конечно, на Солнце тает и препятствует испарению и излучению с поверхности воды, предоставляя в то же время доступ солнечным лучам к воде и асфальту. Весь водоем плотно закрыт листом стекла, вставленным на промасленной хлопковой прокладке. Для предохранения водоема от потерь через конвекцию от ветра устанавливаются щитки. Стоимость такого оборудования не превышает 50 коп. на квадратный фут и ожидается, что оно даст лошадиную силу на каждые 15 $м^2$; неизвестно, является ли эта цифра среднеи для всех условий, или она относится лишь к наиболее благоприятным часам; последнее вероятнее. Вода течет от нагревателя к паровой турбине, работающеи в связи с вакуумным насосом. При первоначальнои температуре, равной 94°, вакуум вызывает переход около 10% воды в пар и понижает температуру смеси пара и воды приблизительно до 39 . Так как 15% является максимумом возможного термодинамического коэфициента полезного действия, при таких условиях, то вряд ли даже 5% солнечного тепла могло быть преобразовано в механическую работу.

Опытами Шумана заинтересовались английские капиталисты, в связи с чем опыты были продолжены в Мидии, около Каира, в Египте, при участии физика

Бойса, который изобрел кварцевые нити. Отклоняясь от принципа «горячего ящика», им были введены цилиндрические зеркала для отражения лучей на покрытые стеклом трубы котла. Эта установка, как описывает главный инженер Акерман, в статье, напечатанной в смитсонианском отчете за 1915 г., повидимому, может выдержать конкуренцию с другими силовыми установками, по крайней мере с установками для накачивания воды из Нила для орошения.

Аппарат Уилльси и Бойля был подвергнут всестороннему испытанию, так что Уилльси дает цифры действительной его стоимости и коэфициента его полезного действия. Строители предпочли сделать бассейн деревянным, залитым асфальтом, потому что песок, как они находят, даже в пустыне содержит влагу, ухудшающую его качество как изолятора тепла. Для получения более быстрой циркуляции воды, а следовательно, и более высокой эффективности в поглощении тепла, они наклоняют бассейн. В их последней конструкции вода течет из первого бассейна с одной стеклянной крышкой во второй с двумя стеклянными крышками, а стекает из него по каплям на ряд трубок, содержащих газ двуокиси серы. Их двигатель низкого давления с двуокисью серы был типа, разработанного в Германии проф. Иоссе (Josse). Во время опытов температура была между 95 и 40°, но в полдень их нагреватель иногда достигал 125°. Свой аппарат Уилльси и Бойль соединяли также с большим резервуаром для работы ночью и в облачную погоду. Они устроили четыре установки, первая из которых была установлена на выставке в Сан-Луи, а остальные в Нидльсе (Аризона). Все бывшие там путешественники согласятся с тем, что второе место для опытов по использованию солнечной энергии было выбрано удачно!

Уилльси оценил стоимость солнечной установки в 164 доллара на 1 *л. с.* и стоимость эксплоатации машины в 400 *л. с.* для пароэлектрической установки в 2,08 цента, а для солнечно-электрической установки в 0,61 цента за электрическую лошадиную силу в час в условиях пустыни близ тропиков.

Солнечная кухня

Опыты с приготовлением пищи при помощи Солнца, которые привлекли широкое внимание публики, были проделаны в 1878 г. Адамсом в Бомбее, в Индии. На рис. 92 изображен чрезвычайно простой аппарат, примененный им для приготовления пищи. Восьмигранный конический собиратель солнечной энергии был

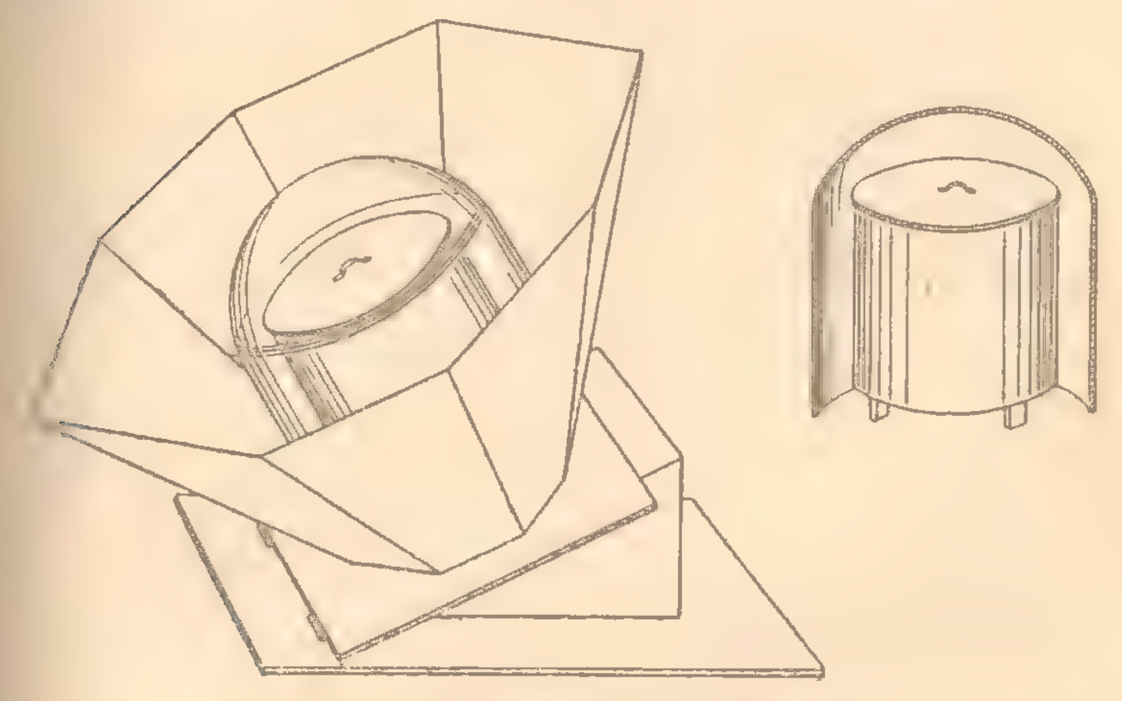


Рис. 92. Солнечная кухня Адамса.

сделан из дерева, выстланного полосками посеребренного стекла. Он был на петлях прикреплен к доске и при помощи клина и поворачивания доски направлялся на Солнце. Положение аппарата приходилось изменять примерно через каждые полчаса. Медный сосуд для приготовления пищи был заключен в стеклянный футляр и прикреплен ко дну концентратора Адамс писал, что порции на 7 солдат, состоящие из мяса и овощей, оказались совершенно готовыми по истечении двух часов, в январе, самом холодном месяце года в Бомбее, и что пищу нашли приготовленной гораздо лучше, чем обычным способом. Это было испытано с успехом также несколькими лицами в Бомбее и в Деккане. Можно приготовить тушеное или

жареное блюдо в зависимости от того, задерживается ли пар или выпускается.

Автором была построена солнечная кухня для станции Смитсонианской обсерватории на горе Вильсона,



Рис. 93. Солнечная кухня Аббота.

изображенная на рис. 93. Цилиндрическое зеркало около 2,3 · 3,7 *м* было составлено из пяти одинаковых стальных частей параболического сечения, покрытых с передней стороны блестящим алюминием, для отражения солнечных лучей на трубку, помещенную в их фокусе, а с задней стороны — покрытых ватой для сохранения тепла.

Трубка, помещенная в фокусе, заключена в стеклянный футляр, а все зеркало, для предохранения от пыли и ветра, покрыто сверху листами оконного

стекла. Трубка установлена параллельно земной оси; вращение зеркала около трубки, как центра, согласовано с движением Солнца с запада на восток. Это движение производилось грузом и регулировалось простым часовым механизмом.

Высокосортное машинное масло было налито в находящуюся в фокусе почерненную металлическую трубку с диаметром в 38 *мм*, которая шла вверх от верхнего конца зеркала к резервуару, содержащему около 270 *л* масла. С задней стороны в резервуар вделаны два духовых шкапа, омываемые горячим маслом. Трубка, идущая от нижней части резервуара, проходит под зеркалом и присоединяется к нижнему концу трубки, находящейся в фокусе. Таким образом непрерывная циркуляция горячего масла поддерживает высокую температуру духового шкапа, которая сохраняется при помощи соответствующего нетеплопроводного материала. Достигнутая температура достаточна для печения хлеба и для приготовления других видов пищи и сохраняется долгое время после захода Солнца.

Резюме

На предыдущих страницах мы отметили различные приспособления, которые порознь или в сочетаниях применялись многочисленными изобретателями для использования солнечного тепла. Все они прежде всего содержат большую поверхность для улавливания солнечных лучей. Эта поверхность может быть укреплена в горизонтальном или в ином, более выгодном, положении или же может постепенно наклоняться при помощи особого механизма, соответственно положению Солнца. В первом случае поверхность чернится для более сильного поглощения, а полученное таким образом тепло передается какой-либо жидкости для домашнего его использования или для приведения в действие теплового двигателя низкой температуры. Для сведения лучей приблизительно в общий фокус чаще всего вводятся зеркала (или иногда линзы или призмы). Обычно зеркало состоит из большого числа граней плоского посеребренного стекла или полирован-

ного металла, установленных на раме, дающей соответствующую общую кривизну зеркала. По своей форме отражающий аппарат может быть параболоидом или конусом или частью цилиндра с параболическим поперечным сечением. В центре приблизительного схождения лучей помещается нагреватель для испарения жидкости (или для выплавки металла из руды). В этом случае, а также и в случае неподвижного солнечного нагревателя бывает выгодно закрыть нагретую часть со стороны солнечных лучей стеклом и предохранить аппарат непроводниками тепла с других сторон. Способы направления аппарата на Солнце, обычно применяемые астрономами, как, например, английский тип экваториальной установки, который казался бы чрезвычайно подходящим для этой цели, как правило, изобретателями солнечных двигателей не признаются удобными. Последние обычно конструировали для своих целей более сложные механические движения, включая круговые рельсы, прорезанные стойки на шарнирах, промежуточные типы между альт-азимутом и экваториальными установками и т. п. За исключением солнечных нагревателей для ванн, обычно устанавливаемых на крышах домов, не следует думать, что приспособления для использования солнечного тепла введены уже в практику с экономическим эффектом и, хотя много работы было проделано в этом направлении в течение нескольких веков, очень редко встречаем подобные двигатели.

Настоящую главу мы закончим рассмотрением некоторых данных, которые должны быть учтены при конструкции солнечных тепловых аппаратов *.

---

* В № 2 журнала «Природа» за 1930 г., в статье проф. Б. П. Вейнберга «Использование солнечной энергии», и в № 6 журнала «Научное слово» за 1929 г., в статье проф Н. Н. Калитина «Использование солнечной радиации для технических целей», читатель найдет указание на дальнейшее развитие гелиотехники. — *Прим. ред.*

Ряд оригинальных работ по гелиоэнергетике напечатано в сборнике «Гелиоэнергетика», составленном Гидрометеорологическим институтом УзССР в Ташкенте (1933) Там же издана брошюра А. Д. Александрова, В. Н. Вешеневского и Н. И. Щербакова «Гелиопарники и гелиотеплицы» (1933). — *С. Щ.*

Количество солнечной энергии

Прежде всего следует задаться вопросом о том, как велико количество солнечной энергии, которое может быть использовано. Следующие данные вычислены из смитсонических пиргелиометрических наблюдений, произведенных в Вашингтоне и на горе Вильсона. Солнечные лучи могут улавливаться поверхностью, поставленной перпендикулярно («нормальное падение»), и в этом случае поверхность должна передвигаться при помощи соответствующего механизма, чтобы следовать за видимым движением Солнца по небу. С другой стороны, лучи могут улавливаться поверхностью, установленной горизонтально, и тогда их интенсивность будет уменьшаться пропорционально конусу зенитного расстояния Солнца. В обоих случаях будет уменьшение интенсивности лучей в зависимости от длины их пути в атмосфере. На рис. 94 показана средняя интенсивность прямого солнечного света в калориях на 1 $см^2$ в минуту для горы Вильсона и для Вашингтона. По горизонтальной оси отложены «массы воздуха» или, иными словами,

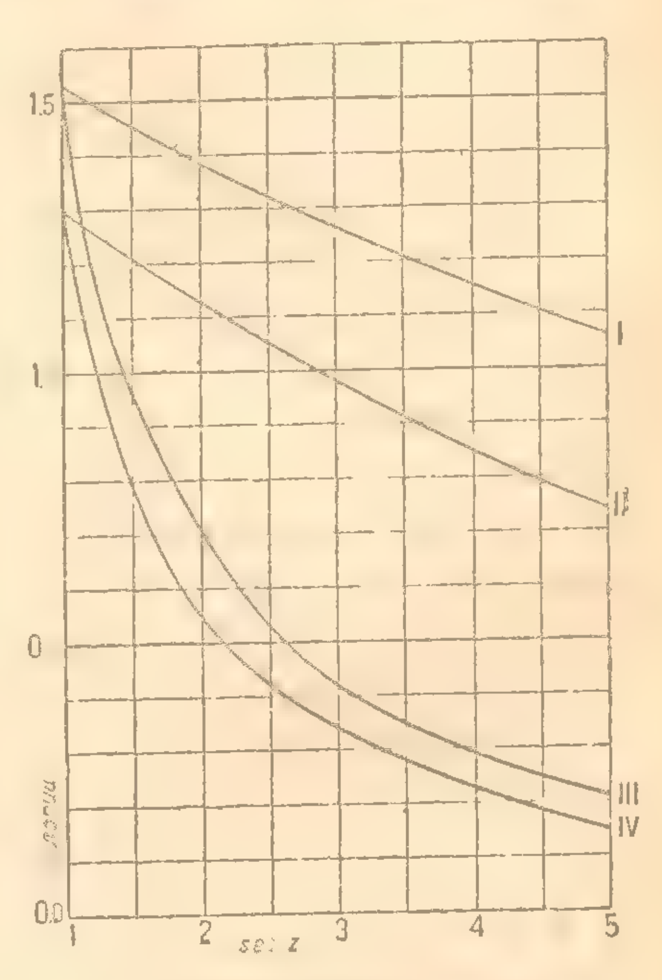


Рис. 94. Интенсивность солнечных лучей (гора Вильсона и Вашингтон).

I и *II*—перпендикулярное падение лучей, *III* и *IV*—падение лучей на горизонтальную поверхность.

секанс зенитного расстояния Солнца *. По вертикальной оси нанесены калории. Пара кривых *III* и *IV* относится к горизонтальной улавливающей поверхности, другая — *I* и *II* — для «нормального падения». Кривые *I* и *III* даны для горы Вильсона.

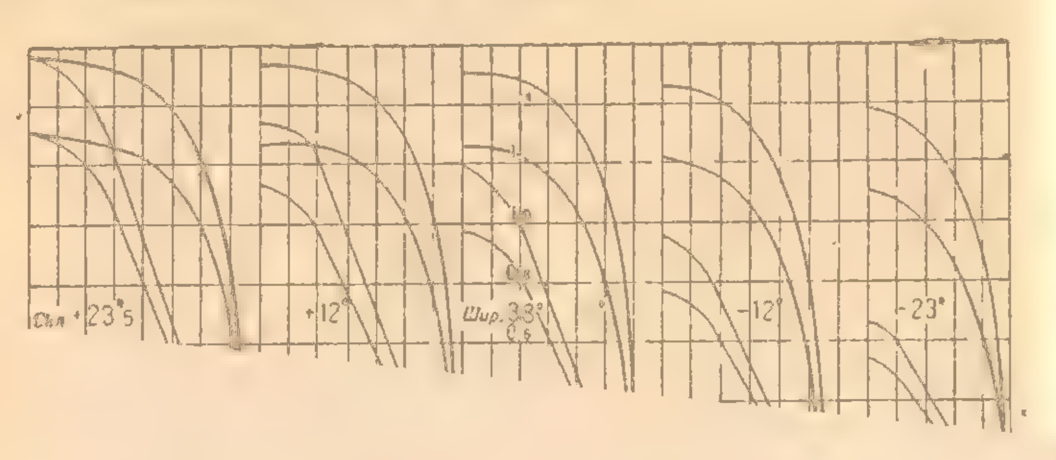




Рис. 95. Интенсивность солнечной радиации (для различных высот и широт).

На уровне моря и на высоте 1 800 *м*. Падение лучей перпендикулярное и на горизонтальную поверхность.

В верхней части рис. 95 показан ход прямой солнечной радиации на уровне моря и на высоте 1 800 *м* — для падения на горизонтальную поверхность и на по-

---

* Секанс зенитного расстояния перестает представлять «массу воздуха» для зенитного расстояния свыше 78 ,5, для которого $\sec z \simeq 5$. Из некоторых измерений, произведенных при очень низком положении Солнца, данные были продолжены до восхода и захода Солнца.

верхность, нормальную к лучам, за время от полудня до захода Солнца 22 декабря, 17 февраля (и 25 октября), 21 марта (и 23 сентября), 22 апреля (и 22 августа), 22 июня, при склонении Солнца —23°,5 —12°, 0°, + 12°, + 23°,5 соответственно. Данные вычислены для северной широты 38°. По горизонтальной оси отложены часы, а по вертикальной — числа калорий на 1 *см*² в минуту. Подобные же вычисления были сделаны для северных широт 20, 30 и 45°. Из этих результатов следуют данные, представленные в нижней части рис. 95. Кривые показывают число калорий солнечного нагревания на 1 *см*² в день, падающих в безоблачную погоду на горизонтальную и на нормальную к лучам поверхность на уровне моря и на высоте 1 800 *м*, для вышеуказанных широт. В каждой группе две верхние кривые соответствуют нормальному падению; самая высокая из них соответствует высоте в 1 800 *м*. В следующей таблице дана сводка полного количества энергии, выраженного в калориях на 1 *см*² в год, а также средняя поверхность в квадратных метрах, на лошадиную силу, если допустить полное поглощение и полное превращение энергии, принимая продолжительность солнечного сияния 261 000 мин. в год.

Широта	Нормальное падение		Падение на горизонтальную поверхность		Размерность
	на уровне моря	на высоте 1 800 *м*	на уровне моря	на высоте 1 800 *м*	
20°	292 000	362 000	185 000	226 000	Калории на 1 *м*² в год
30°	287 000	355 000	170 000	203 000	
38°	271 000	342 000	152 000	185 000	
45°	270 000	340 000	137 000	169 000	
20°	0,98	0,79	1,54	1,26	Квадратные метры на 1 *л. с.*
30°	0,99	0,82	1,68	1,40	
38°	1,05	0,84	1,88	1,54	
45°	1,06	0,85	2,08	1,69	

Нетрудно поглотить 95% падающей на поверхность солнечной радиации. В качестве поглотителя приме-

няется ламповая копоть, если температура низка, и осажденная электричеством платиновая чернь, если температура настолько высока, что ламповая копоть сжигается. На Земле имеется много областей, где от 75 до 90% или даже более безоблачного неба. Отсюда мы можем заключить, что есть много областей, где в дневные часы поверхность в один или два квадратных метра может поглотить количество солнечного тепла, механически эквивалентное мощности лошадиной силы. Но в действительности, при образовании механической энергии из солнечной теплоты, используется лишь небольшой процент последней.

Термодинамический коэфициент полезного действия

Из термодинамики известно, что если идеальный двигатель получает тепло при абсолютной температуре T_1, и испускает его при температуре T_2, то только часть тепла $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ может превратиться в механическую работу. Для иллюстрации возьмем двигатель, получающий тепло при температуре точки кипения воды 373 абс. и испускающий его при температуре точки замерзания 273 ; в этом случае максимальный возможный коэфициент полезного действия будет $\frac{100}{373} = 26{,}8\%$. Этот закон термодинамики дает коэфициент полезного действия лишь идеального двигателя, а не того, который существует в действительности и в котором приводящая его в действие энергия — теплота. Двигатель термоэлектрический или двигатель паровой оба являются двигателями тепловыми, и их коэфициент полезного действия не может превзойти коэфициент полезного действия, вычисленный по вышеприведенному правилу. Фактически, однако, ни один тепловой двигатель не является идеальным, и самые лучшие конденсирующие паровые двигатели тройного расширения, с наиболее совершенными котлами, вряд ли превращают в работу больше 15% тепла, полученного при сгорании питающего их

угля. Если тепловой двигатель работает от очень высокой до очень низкой температуры, то дробь $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ может быть по своей величине приближена к единице. Например, допустим, что $T_1 = 1\,000$, $T_2 = 300$, тогда $\frac{T_1 - T_2}{T_1} = 70\%$. Это, отчасти, объясняет высокий коэфициент полезного действия двигателей внутреннего сгорания, которые развивают высокую температуру в своих цилиндрах и часто превращают в работу 25% теплоты сгорания их топлива. С другой стороны, потери тепла вследствие теплопроводности, конвекции и радиации быстро увеличиваются с повышением температуры, так что, если двигатели применяются при очень высоких температурах, то их преимущество в термодинамическом отношении на практике, вследствие потери тепла, может быть сведено на-нет.

Отражающая способность зеркальных поверхностей

Принимая во внимание все обстоятельства, оказывается, что стеклянные пластинки, посеребренные с обратной стороны, и полированный алюминий являются, пожалуй, наилучшими материалами для производства зеркала.

Может возникнуть вопрос, будет ли солнечная машина будущего иметь зеркала и приводной часовой механизм. «Горячий ящик» Соссюра и Дж. Гершеля, в применении Уилльси и Бойля и Шумана, настолько дешев, что низкий коэфициент полезного действия, неотделимый от низкой рабочей температуры, повидимому, не помешает его промышленному применению. Некоторый выигрыш в коэфициенте полезного действия может быть получен неподвижной установкой с нагреваемой поверхностью, параллельной земной оси, вместо горизонтального расположения, однако может случиться, что увеличивающаяся стоимость сведет на нет этот выигрыш. Коэфициент полезного действия аппарата зависит от степени защиты его стеклом с передней стороны. Если к тому же оказалось бы воз-

можным сделать экономичным получение под стеклом вакуума, то коэфициент полезного действия стал бы значительно выше.

Такая конструкция заслуживает большого внимания.

Кажется весьма вероятным, что солнечная кухня, вместе с нагревателями воды и тепловыми резервуарами, осуществляющие принцип «кухни без огня», получат широкое применение. Нетрудно видеть, что может быть создан совсем недорогой аппарат, совмещающий в себе все эти преимущества, и что домашние хозяйки будут приветствовать освобождение их летом от условий жарких кухонь.

Таблица 30

Отражающая способность разных поверхностей (в процентах)

Длины волн в μ	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,50
Стекло[1] посеребренное с обратной стороны, образец *А*	—	67	82	90	93	94	94	95	95
То же, образец *В* . . .	—	63	80	86	84	76	65	56	65
Стекло, сзади ртуть . .	—	—	73	71	70	73	—	—	—
Серебряный слой, осажденный химически на стекле	74	83	90	91	93	95	96	97	98
Никелевый слой, осажденный электрически	48	53	59	61	65	69	70	72	79
Зеркальный металл . .	51	55	60	63	64	67	68	70	75

[1] Отражательная способность зеркал, посеребренных с задней поверхности сильно разнится в зависимости от сорта употребляемого стекла. В качестве образца *А* взято обычное оптическое флинтовое стекло толщиной в 12 *мм*, химически посеребренное с задней стороны. В качестве образца *В* взята обычная продажная плоскопараллельная стеклянная пластинка, слегка зеленоватого оттенка, толщиной около 8 *мм* посеребренная таким же способом Стекло образца *В*, повидимому, содержит полосу поглощения в инфракрасной части спектра.

Хорошее проектирование, устраняющее дорогие и сложные конструкции и приспособления, требующие постоянного внимания, вместе с более полным знанием свойств употребляемых материалов и искусное использование средств для увеличения эффективности результатов — все это, поддержанное умеренными затратами на экспериментальную работу, может быть скоро сделает использование солнечной энергии весьма распространенным.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

СОЛНЦЕ СРЕДИ ЗВЕЗД

Расстояния звезд. — Звездные величины. — Звездная величина Солнца. — Движение Солнца среди звезд. — Группы звезд. Двойные звезды. — Массы и плотности звезд. — Дивная Кита и Солнце. — Спектры звезд. — Классификация звездных спектров. Распределение излучения в спектре. — Эволюция солнечной системы. — Звездная эволюция.

При первом взгляде на звезды кажется, что они также похожи на Солнце, как огоньки светляков в летнюю ночь. И только продолжительными исследованиями было доказано, что Солнце — одна из многочисленных звезд и отнюдь не бóльшая из них; если бы Солнце было отодвинуто на далекое расстояние, оно бы казалось подобным одной из звезд. Взгляд Коперника, что Солнце является центром, вокруг которого обращается Земля и планеты, представлялся достаточно удовлетворительным, пока дело касалось солнечной системы, но этого взгляда трудно было долго держаться в отношении звезд. Для этого требовалось допущение, что все они так удалены, что колоссальное перемещение Земли в пространстве от лета к зиме производит неизмеримо малые смещения в их видимом относительном расположении. Если читатель, гуляя в лесу, сделает сотню шагов в каком-либо направлении, то сразу увидит, что деревья меняют по отношению к нему свое относительное расположение, а если он едет в вагоне, то заметит, что впереди него ландшафт кажется расступающимся. На объектах, находящихся от него на все возрастающих расстояниях, все менее и менее будет сказываться его собственное движение. Подобным же образом и прежний астроном века Коперника должен был притти к мысли, что звезды, не меняющие заметно своих относительных положений в течение года, настолько удалены от Земли, что сме-

щение в одну или две сотни миллионов километров в положении Земли соответствует при наблюдении с ближайшей звезды углу, слишком малому для того, чтобы быть измеримым. Иными словами, если бы он мог наблюдать изменения столь малые, как две секунды дуги, он убедился бы, что все звезды, во всяком случае удалены много больше, чем 150 000 000 000 000 *км*. В наши дни мы знаем, что это именно так; для многих из звезд были измерены расстояния, но век назад астрономы принимали это за веру, просто потому, что они признавали систему Коперника.

Расстояния звезд

Первое успешное измерение звездного параллакса (годичный параллакс звезды есть угол, под которым виден со звезды радиус земной орбиты) было сделано Струве (Struve) в Дерпте для Веги в 1835—1838 гг., и Бесселем (Bessel) для звезды 61 Лебедя в 1837—1840 гг. Последняя слабая звезда была выбрана в силу ее большого собственного движения. Результат измерений Бесселя составляет 0″,35, а измерений Струве — около одной четверти секунды. Первый почти верен, последний почти в два раза преувеличен. Нужно большое искусство, чтобы измерять столь малые углы, как эти. В современной практике попытки измерять абсолютные параллаксы фактически оставлены и заменены определением параллаксов относительных. Это значит, что астроном теперь предпринимает по современным фотографическим наблюдениям лишь определение, насколько данная звезда окажется сдвинутой среди совсем слабых, окружающих ее, звезд при перемещении Земли. Теперь принимается, что весьма слабые звезды в среднем настолько удалены, что не имеют ощутимых параллаксов, или же самое большее, имеют очень малые приближенно известные средние параллаксы, которые могут быть приданы как поправки.

Табл. 31 дает для 21 наиболее ярких звезд название, положение, визуальную звездную величину, спектр, параллакс и приближенный диаметр в миллионах километров

Таблица 31

Данные для 21 наиболее яркой звезды

Название звезд	Прямое восх. 1900	Склонение 1900	Величина	Спектр	Параллакс	Диаметр
	h m				″	
Ахернар	1 34,0	−57°45′	0,6	B 5	0,049	?
Альдебаран	4 30,2	+16 18	1,1	K 5	0,057	56
Капелла	5 9,3	+45 54	0,2	G 0	0,075	16
Ригель	5 9,7	− 8 19	0,3	B 8	0,007	34
Бетельгейзе	5 49,8	+ 7 23	перем.	M 0	0,016	430
Канопус	6 21,7	−52 38	−0,9	F 0	0,005	?
Сириус	6 40,7	−16 35	−1,6	A 0	0,371	2,2
Процион	7 34,1	+ 5 29	0,5	F 5	0,312	1,6
Поллукс	7 39,2	+28 16	1,2	K 0	0,101	?
Регул	10 3,0	+12 27	1,3	B 8	0,058	?
α Креста	12 21,0	−62 23	1,0	B 1	0,030	?
β Креста	12 41,9	−59 9	1,5	B 1	0,008	?
Спика	13 19,9	−10 38	1,2	B 2	0,009	?
β Центавра	13 56,8	−59 53	0,9	B 1	0,018	?
Арктур	14 11,1	+19 42	0,2	K 0	0,080	37
α Центавра	14 32,8	−60 25	0,3	G 0	0,758	?
Антарес	16 23,3	−26 13	1,2	M 0	0,026	790
Вега	18 33,6	+38 41	0,1	A 0	0,124	3,2
Альтаир	19 45,9	+ 8 36	0,9	A 5	0,204	?
Денеб	20 38,0	+44 55	1,3	A 2	0,005	?
Фомальгаут	22 52,1	−30 9	1,3	A 3	0,137	?

Сейчас мы сосредоточим внимание на столбце, содержащем параллаксы, в котором величины идут от 0,005 до 0′,758, что дает отношение расстояний 150 : 1, т. е. от 6 000 до 40 триллионов километров Косвенными методами мы узнали о многих звездах, что он находятся в сотни раз дальше перечисленных Столь громадные расстояния обычно выражают в «световых годах». Свет проходит в год около 10 000 000 000 000 *км.* В этих единицах наибольшее расстояние в таблице будет 630 световых лет, которое соответствует параллаксу 0″,005. Громадное большинство звезд находится от нас еще во много раз дальше. Ближайшими же звездами, как теперь найдено, являются *α* Центавра и слабая звездочка вблизи нее, расстояние которых составляет около четырех световых лет

Звездные величины. Звездная величина Солнца

Относительно яркости звезд выражаются в «звездных величинах». Звезда первой величины дает приблизительно в 2,5 раза больше света, чем звезда второй величины. По этой шкале Полярная звезда оказывается приблизительно второй величины, Альдебаран — почти первой, Вега — почти нулевой, Сириус —1,6, Солнце —26,7. Измерение на пять звездных величин дает изменение яркости света в сто раз, так что Солнце дает Земле света свыше чем в 90 000 000 000 раз более чем Альдебаран. Если Солнце отнести на расстояние Альдебарана, годичный параллакс которого равен 0″,06, то оно окажется звездой около шестой величины, и по яркости уподобится лишь более слабой звездочке из шести легко различимых звезд в Плеядах. Альдебаран, следовательно, излучает света приблизительно в 95 раз больше, чем Солнце. Есть несколько звезд, среди них Ригель, Канопус и Денеб, которые имеют едва отличный от нуля параллакс, и однако являются звездами первой величины или ярче, так что они должны излучать света во много тысяч, а может быть и сотен тысяч раз более, чем Солнце. С другой стороны, существует много звезд, которые излучают во много раз меньше света, чем Солнце. К ним относится быстро движущаяся звезда 61 Лебедя, параллакс которой измерен Бесселем. Излучаемый ею свет составляет одну десятую света излучаемого Солнцем.

Движение Солнца среди звезд

Подобно тому как при прогулке по лесу впереди нас деревья кажутся расходящимися, когда мы к ним приближаемся, и смыкающимися сзади нас, когда мы от них удаляемся и звезды имеют тенденцию двигаться приблизительно в направлении от созвездия Геркулеса к созведию Корабля Арго в южном полушарии. Вследствие больших расстояний звезд эти смещения, называемые собственным движением, очень малы и редко превышают 100″ в столетие, обычно же они значительно меньше. Тем не менее наблюдения звездных

мест настолько точны, что точки схождения движений определены с ошибкой всего лишь в несколько градусов. Одна точка лежит в северном полушарии и имеет прямое восхождение 270° и склонение + 30°, находясь в созвездии Геркулеса, примерно на 10° к юго-западу от яркой звезды Веги. Причина явления — это движение солнечной системы относительно всех звезд в целом, по направлению к только что указанной точке, называемой апексом движения Солнца.

Скорость движения определена из видимых собственных движений звезд с известными параллаксами, или из спектроскопических измерений звездных движений по лучу зрения.

Проф. Кемпбелл любезно представил мне следующую общую сводку различных определений:

«Вильям Гершель в 1783 г. из собственных движений тринадцати звезд (всех известных в то время) нашел, что солнечная система несется приблизительно по направлению к звезде Геркулеса с прямым восхождением 262° и склонением +26°.

Многочисленные определения точки направления солнечного движения были сделаны во второй половине XIX в., когда стали известны собственные движения для большого числа звезд. Мы упоминаем те из них, которые основываются на наиболее богатом материале.

Координаты Ньютона для апекса движения Солнца, выведенные приблизительно из 3 100 звезд Брадлэя (Bradley), имеют прямое восхождение 275° и склонение +31°.

Из 2 640 звезд Брадлэя Каптейн вывел для положения апекса прямое восхождение 274° и склонение + 29,5°.

Из собственных движений 5 413 звезд Босс (Boss) вычислил, что апекс имеет прямое восхождение 270°,5, склонение + 34°,3; скорость движения Солнца по оценкам Босса составляет 24 *км/сек*.

Несколько решений для элементов солнечного движения получены из наблюденных лучевых скоростей звезд.

В 1900 г. Кемпбелл по 280 лучевым скоростям звезд, три пятых общего числа которых относились к север-

ному полушарию, получил для положения апекса по прямому восхождению 277°,5, по склонению +20° и для скорости 19,9 *км/сек*.

В 1918 г. Адамс и Штремберг (Stromberg) в своих выводах основывались на лучевых скоростях 1 405 звезд. Для положения апекса они получили по прямому восхождению 270° и по склонению +29°,2 и для скорости 21,4 *км/сек*.

В 1926 г. Кемпбелл и Мур определили движение Солнца из наблюдений лучевых скоростей 2 119 звезд. Положение апекса по этим данным получилось по прямому восхождению 271°,5, по склонению +23°,6 и скорость 19,6 *км/сек*».

Далее Кемпбелл продолжает:

«Неизбежно приходишь к мысли, что движение солнечной системы чисто относительно и во всех случаях отнесено к частной группе звезд, взятых за основу в этом решении. Вычислитель должен всегда стремиться, чтобы его наблюдательный материал был однородным насколько возможно и представлял звездную систему в целом.

Получается некоторая неточность в несколько градусов в направлении движения Солнца, отнесенного ко всей звездной системе; некоторая неточность возможна также в несколько километров в секунду в скорости его движения. Повидимому, следующие значения можно считать в настоящее время наиболее вероятными:

Апекс — прямое восхождение 270°, склонение +30°, скорость 20 *км/сек*.

Нужно сказать, однако, что многие астрономы рассматривают как наиболее вероятные следующие значения:

Прямое восхождение 272°, склонение +33°.

Скорость 20 *км/сек*.

Каптейн и Фрост получили указание на то, что скорость солнечной системы по отношению к звездам типа B значительно больше, чем по отношению к звездной системе в целом, но число звезд типа B, взятых при исследовании, конечно, слишком мало для того, чтобы обеспечить достоверность получаемых результатов,

Кемпбелл нашел, что скорость движения Солнца по отношению к звездам спектральных типов B, A и F до F4 включительно находится в достаточном согласии со скоростями, выведенными по звездам спектральных типов F5 и G, включая сюда K и M.

Не представляется вполне ясным, что направление и скорость движения Солнца в действительности являются функциями расстояний звезд, принятых в этом решении за основу».

Группы звезд

Имеет ли Солнце в своем движении сопутствующие ему звезды, точно неизвестно, но, вообще говоря, известны группы звезд, которые представляются вполне определенными системами звезд, движущихся в общем направлении. Такую группу представляют собой Плеяды, включающие, кроме шести легко видимых звезд, еще большое число звезд телескопических. Их причастность к одной общей системе доказывается по крайней мере тремя очевидными моментами. Во-первых, совершенно невероятно, чтобы такое множество звезд значительной яркости попали бы на столь малую область неба, если бы их расположение было чисто случайным. Во-вторых, исключая несколько звезд, которые кажутся не принадлежащими к этой системе, все остальные обладают равными собственными движениями в одном и том же направлении. Общее собственное движение составляет около 6″ в столетие. В-третьих, имеется туманность, в форме клочьев облаков, повидимому, тесно связанная с некоторыми звездами группы, и несомненно подтверждающая их общую связь (рис. 96). Группа Плеяд, включая и слабые звезды, участвующие в общем движении, расположена на площади с диаметром в среднем около 100′. Параллаксы этих звезд с достоверностью не измеримы, но с некоторой вероятностью их расстояние оценивается не менее чем в 200 световых лет. Отсюда следует, что радиус системы не меньше чем в 3 световых года, или 29 000 000 000 000 *км*, т. е. в 6 000 раз больше радиуса орбиты Нептуна. Если в действительности группа так

мала, то это означает, что около сотни крупных звезд расположены одна к другой ближе, чем Солнце к своему ближайшему звездному соседу.



Рис. 96. Плеяды (Ричи).

Снято 2-футовым рефлектором Иеркской обсерватории [illegible] 1901 г. Экспозиция $3^1/_2$ часа. Пластинки Cramer Crown.

Любопытная связь туманности с Плеядами имеет аналогии во многих других областях неба и даже наша

собственная солнечная система, видимо, не исключается из этого. В темные ночи вблизи плоскости эклиптики наблюдается свет, который нельзя рассматривать как свет, порождаемый сумерками; он называется зодиакальным светом, когда он наблюдается со стороны Солнца, и противосиянием (Gegenschein), когда он наблюдается с противоположной стороны. Зеелигер (Seeliger), на основании правдоподобных допущений, оценивает его как материю, входящую в то туманное кольцо, которое является причиной больших возмущений орбиты Меркурия, хотя эти возмущения объясняются теперь чаще теорией относительности Эйнштейна. Предполагается, что звезды произошли из туманности, и если так, то звезды Плеяд приходится считать менее продвинувшимися вперед в ходе эволюции, чем Солнце; к этому вопросу мы еще вернемся.

Вопрос о том, тяготение ли управляет движением Солнца среди звезд и находится ли движение такой обширной системы, как Плеяды, в стройном гравитационном движении, подобно планетам нашей солнечной системы, — это вопрос, который еще не находит полного решения. Ньюкомом, однако, было вычислено, что во вселенной недостаточно материи для того, чтобы управлять движениями столь быстро летящих звезд, как, например, 1830 Грумбриджа или Арктура.

Двойные звезды

Универсальность силы тяготения доказывается существованием легко наблюдаемых, эллиптических орбит в многочисленных случаях двойных звезд. На всем небе насчитывается около 10 000 звезд до 6-й величины. Однако имеется почти бесконечно мало шансов, чтобы две из них, при случайном распределении, оказались находящимися на расстоянии 5″ друг от друга, принимая во внимание, что квадратов со стороной в 5″ на всем небе более 20 000 000 000. В действительности, однако, среди видимых звезд имеется много еще более тесных пар, таких, что физическая связь в большинстве этих случаев совершенно очевидна. В некоторых случаях, как в случае очень яркой пары *α* Цен-

тавра, с компонентами 0,4 и 1,9 звездной величины, в которой обе звезды разделены значительно бо́льшим расстоянием (равным в среднем 17",1), существование физической связи доказывается тем, что наблюдаются изменения периодического характера в относительном положении двух звезд. У α Центавра орбита описывается в течение 81 года. Спектроскопические наблюдения движений большого числа звезд по лучу зрения, не разделяющихся при наблюдении их в телескоп, доказали, что в силу наблюденных изменений скорости они являются физически связанными двойными звездами.

Иногда на существование спутника у спектрально двойных звезд указывает раздвоение спектральных линий, но значительно чаще один из объектов слишком слаб, чтобы дать спектр, и признаком его существования являются только периодические изменения в положении линий в спектре, которые указывают на то, что наблюдаемая звезда имеет орбитальное движение.

Массы и плотности звезд

Спектроскопический метод определения движения звезд дает проекцию на луч зрения линейной скорости движения в орбите одного или обоих компонентов. Телескопический метод дает проекцию, перпендикулярную к лучу зрения углового движения компонентов. Оба эти метода позволяют определить период обращения составляющих, когда параллакс объекта известен, как в случае α Центавра, легко могут быть найдены линейные размеры проекции орбиты. В случае точных наблюдений телескопических двойных с известным параллаксом или в случае пар, у которых движение наблюдалось еще и спектроскопически, оказывается возможным определить действительные линейные размеры обеих орбит и (применяя закон тяготения) относительные массы обеих звезд. Общая их масса по сравнению с общей массой Земли и Солнца вытекает из третьего закона Кеплера. Условимся рассматривать общую массу Земли и Солнца как единицу массы, радиус земной орбиты — как единицу расстояния и

год — как единицу времени; тогда, называя, период, полную массу и средний радиус-вектор двойной звезды соответственно через P, M и R, будем иметь:

$$M = \frac{R^3}{P^2},$$

при условии наличия постоянной тяготения, всюду одинаковой по своей величине.

Поскольку R и P, для хорошо определенных орбит, известны, мы находим M — отношение общей массы двойной звезды к общей массе Земли и Солнца. В случае α Центавра полная масса в два раза больше солнечной, а компоненты приблизительно равны по массе, т. е. каждая почти равна по массе Солнцу. Среднее расстояние между ними составляет 23,6 радиусов земной орбиты.

Таким путем были определены общие массы различных двойных звездных систем. Результирующие массы иногда меньше, иногда в небольшое число раз больше, чем масса Солнца. Если бы массы оказались совершенно другого порядка по величине, то могло бы возникнуть сомнение в том, что постоянная тяготения в других системах имеет ту же величину, что и в нашей. Но, при существующем положении вещей, предположение, что тяготение есть универсальное неизменное свойство материи, оправдывается.

Существует метод, предложенный Пикерингом (Pickering), для нахождения соотношения между поверхностной яркостью и средней плотностью звезд двойной системы, для которой период и звездная величина по шкале яркостей неизвестны. Не входя в объяснения по существу, которое можно найти в книгах, посвященных звездам, укажем на интересные выводы, которые показывают, что звезды в общем, по отношению к своим массам, дают света значительно больше, чем Солнце. Астрономы полагают, что разногласие указывает на меньшую плотность звезд, чем Солнца. В некоторых случаях возможен другой путь исследования плотностей звезд. Есть несколько двойных систем, орбиты которых имеют настолько малые размеры и

настолько близко лежат к плоскости движения Земли, что компоненты регулярно затмевают один другого, и количество света двойной звезды, разумеется, претерпевает периодические изменения.

В таких системах продолжительность затмения, по сравнению с периодом обращения по орбите, дает мерило относительной величины диаметров звезд по сравнению с диаметром их орбит. Следуя такому способу, Робертс (Roberts) показал, что средние плотности этих переменных звезд (названных переменными типа Алголя, по имени типичной знаменитой спектроскопически двойной звезды) составляют не более 1/8 плотности Солнца. Это общее заключение было независимо подтверждено Ресселлом.

Дивная Кита и Солнце

Не случайно мы заговорили о затмевающихся переменных звездах типа Алголя. Не вдаваясь в подробности относительно переменности звезд вообще, что представляет глубокий интерес, особенно по отношению к некоторым неправильным переменным и очень слабой переменности Солнца, мы будем говорить о переменных звездах иного типа, типичной представительницей которого является звезда о Кита, получившая название «Дивной». Эта звезда временами становится по яркости звездой 2-й величины; но временами слабеет до 9-й величины и более. Такому интервалу соответствует изменение яркости в тысячу раз. Полный цикл протекает со средним периодом 331,6 дня, но иногда максимум наступает на 30—40 дней раньше или позднее. Максимумы и минимумы этой звезды не одинаковы по яркости, иногда она в максимуме достигает только 5-й величины, а в минимуме падает только до 8-й величины. Время, необходимое для возрастания яркости от минимума до максимума, составляет только около двух третей времени, необходимого для падения яркости от максимума до минимума. Форма кривой яркости тоже изменяется, так что максимумы при одних подъемах бывают длиннее, чем при других.

Спектр Дивной Кита принадлежит к третьему типу, к которому принадлежит и Антарес, и определяется как полосатый спектр, встречающийся в некоторой степени у солнечных пятен. Спектр изменяется с изменением яркости, в максимуме усиливаясь в фиолетовой части, особенно в его фиолетовых водородных линиях. Спектр указывает на большую скорость удаления от Солнца (66 *км/сек*); однако не имеется указаний на существование спутника Дивной Кита *.

Во многих отношениях переменность этой звезды напоминает переменность Солнца, связанную с солнечными пятнами. Правда, доля изменения солнечной радиации может быть по величине не более 0,00001 изменения Дивной Кита, но существование постоянного среднего периода, способного к большим индивидуальным отклонениям, различная интенсивность в максимуме, асимметричная и переменная кривая яркости — все это в точности подобно тому, что дает кривая солнечных пятен для Солнца; даже детали похожи. Яркость Дивной Кита возрастает быстрее, чем падает. Измерения значения солнечной постоянной указывают на то, что радиация Солнца находится в минимуме, когда солнечные пятна наиболее малочисленны. Но число солнечных пятен спадает к минимуму медленней, чем возрастает до максимума. Итак, в силу сходства многих характерных черт возможно, что открытие причин, сопровождающих явление периодичности солнечных пятен, сможет вскрыть тайну переменности звезд типа Дивной Кита.

Спектры звезд

После того как были приведены некоторые сведения о расстоянии, движении, яркости, массе и плотности звезд по сравнению с Солнцем, мы, убедившись в том, что эти сведения были получены посредством изучения самого Солнца и солнечной системы, можем те-

---

* Изучая спектр Дивной Кита, американский астроном предсказал существование спутника у этой звезды. Действительно спутник был обнаружен на Ликской обсерватории астрономом Айткеном. — *Прим. ред.*

перь направить наше внимание на спектры звезд и посмотреть, чем и насколько типично Солнце с этой точки зрения. Мы отметили, что преобладание темных линий металлов в спектре Солнца есть его характерная черта. Линии кальция и водорода часто дают яркие обращенные линии в их середине. Гелий редко дает для фотосферы темные линии, но в спектре хромосферы его яркие линии также блестящи, как и линии водорода и кальция. Темные линии металлов в спектре солнечных пятен все еще видны, но в значительной мере затмеваются полосатым спектром различных соединений, фиолетовый конец спектра очень слаб по сравнению с фиолетовым концом обычного спектра фотосферы.

Различные эти особенности солнечного спектра находят отражение в спектрах звезд. Существует обширный класс звезд, отдельные линии в спектрах которых едва отличаются от линий солнечного спектра. В числе наиболее точных копий находится спектр главной звезды яркой двойной системы — Капеллы. От этого солнечного типа мы можем итти двумя путями: в одном направлении — к звездам, у которых преобладает красный конец спектра и у которых полосатый спектр перекрывает отдельные металлические линии, в другом направлении — к звездам голубым, у которых линии водорода или гелия — почти единственные отличительные черты на непрерывном спектре.

Благодаря любезности Кемпбелла, директора Ликской обсерватории, я имею возможность воспроизвести здесь серию звездных спектров (рис. 97—104), показывающих градацию от так называемых гелиевых или орионовых звезд до так называемых углеродных звезд, лежащих на противоположном конце шкалы. Рассматривая эту серию спектров, займемся более подробно выявлением различий в спектрах звезд.

Классификация звездных спектров

Секки в 1867 г. разделил спектры звезд на четыре больших типа. Тип I объединяет голубые и белые звезды. В их спектрах темные линии металлов редки

и слабы, но темные линии водорода хорошо заметны. Этот тип наиболее многочисленен и включает, наряду с другими выдающимися звездами Сириуса, Вегу и Проциона. Тип II объединяет желтые звезды, спектры которых испещрены металлическими линиями. Этот тип включает Солнце, а также Капеллу, Арктура и Альдебарана. Тип III содержит оранжевые и красные звезды, спектры которых дают, с одной стороны, много темных металлических линий, находимых у звезд второго типа, а с другой стороны, — многочисленные темные полосы или ряды полос. Эти последние состоят подобно полосам земного кислорода, из серий, начинающихся с резко обозначенной головной частью, и затушеваны к красному концу. Теперь известно, что причиной этих полос являются окиси титана и других металлов и гидраты, как, например, гидрат кальция. Этот класс включает Антареса и Бетельгейзе. Тип IV содержит несколько темнокрасных звезд, спектры которых также имеют полосы или группы линий, но размытые по направлению к фиолетовому концу. Эти полосы приписываются углероду и его соединениям. Звезды IV типа [illegible]. Две наиболее ярких — это 19 Рыб ([illegible] величины) и 152 Скьеллерупа (Schjellerup) (5,5 зв. величины).

Звездная классификация Секки употребляется еще и теперь при общих описаниях, хотя позднее была принята более детализированная система. Прилагаемые рис. 97—104 хорошо иллюстрируют некоторое различие между типами Секки. Тем не менее, однако, практически невозможно, не имея в руках самых снимков спектров, заметить сразу основные изменения в спектре. Спектральные типы Секки постепенно переходят один в другой, так что в некоторых случаях приходится сомневаться в том, к которому из двух соседних типов следует отнести звезду.

В классификации Секки должны быть сделаны две модификации. Первая, наиболее существенная, — среди голубых и белых звезд попадаются много таких, спектры которых отличаются более сильными линиями поглощения гелия, чем водорода. Линии кислорода и кремния также иногда присутствуют в спектрах этих

гелиевых звезд, но большинство металлических линий крайне слабы или совсем не видны. Гелиевые звезды многочисленны в созвездии Ориона и в Млечном Пути. Тип I Секки поэтому может быть разделен на два главных подтипа: на гелиевые или орионовы звезды и на звезды водородные или сириусовы. Гелиевые звезды нередко дают в спектре некоторые яркие линии излучения наряду с темными, или абсорбционными линиями. Эти яркие линии принадлежат по большей части водороду, но и линия гелия D_3 часто оказывается тоже яркой. Классификация Фогеля включает третье подразделение типа I Секки, включающее спектры с такими яркими линиями.

Это тот самый класс звезд, для которых Пикеринг предлагал прибавить к системе Секки тип V. В их спектрах главной характерной особенностью являются яркие линии и полосы в желтой и голубой частях спектра. Некоторые из них обязаны своим происхождением водороду, тогда как происхождение других неизвестно [1]. Звезды с яркими линиями или так называемые звезды типа Вольфа-Райе расположены большей частью в Млечном Пути или в Магеллановых облаках и все, за исключением γ Паруса, слабы. Некоторые ультрафиолетовые яркие линии в спектрах звезд Вольф-Райе являются также яркими линиями в спектрах некоторых туманностей.

Гарвардской обсерваторией была принята система звездной классификации более подробная, чем классификация Секки и Фогеля, в которой введена цифровая градация внутри главных подразделений, обозначаемых буквами, благодаря чему может быть обозначено большое число вариаций спектра. Спектр, обозначенный B3A, или, короче, B3 есть спектр, который оценивается, как находящийся на трех десятых расстояния от типичной звезды B до типичной звезды A; подобно этому пишут и в других случаях. Табл. 32 дает параллельно обозначения типичных звезд по

[1] В последние годы шведский физик Эдлен отождествил многие спектральные линии этих звезд с линиями сильно ионизованных атомов кислорода и азота. — *Прим. ред.*

Рис. 97. Рис. 98. Рис. 99. Рис. 100.



Рис. 97—100. Спектры звезд. Спектр сравнения титана (Кэмпбелл).

Рис. 97. Тип B2 γ Пегаса, 25 декабря 1910 г. Измеренное смещение + 37 км.
Рис. 98. Тип A α Большого Пса, 29 сентября 1910 г. Измеренное смещение + 28 км.
Рис. 99. Тип F5 Малого Пса, 22 октября 1910 г. Измеренное смещение + 31 км.
Рис. 100. Тип G Венера (Солнце), 21 января 1917 г. Измеренное смещение + 13 км.

Рис. 101. Рис. 102. Рис. 103. Рис. 104.



Рис. 101 — 104. Спектры звезд. Спектр сравнения титана. (Кемпбелл).

Рис. 101. Тип G Венера (Солнце). 21 января 1907 г. Измеренное смещение + 13 км.
Рис. 102. Тип K α Волопаса. 10 июля 1907 г. Измеренное смещение + 21 км.
Рис. 103. Тип M_3 α Ориона. 29 ноября 1907 г. Измеренное смещение + 10 км.
Рис. 104. Тип Md ο Кита. 20 декабря 1906 г. Измеренное смещение + 87 км.

классификации Секки, Фогеля и Гарвардской обсерватории. Класс Q в гарвардской классификации оставлен для «новых звезд», которые претерпевают вспышки яркости. Oa есть обозначение звезд типа Вольфа-Райе. Класс O имеет еще другие подклассы *b*, *c*, *d*, а класс M — подклассы *b*, *c*, не указанные в таблице.

Таблица 32

Классификация звездных спектров

Название звезд	Гарвардская обсерватория	Фогель	Секки
η Корабля Арго или Киля	Q	—	—
γ Корабля Арго или Паруса	Oa	Ib	—
29 Большого Пса	Oe	Ib	—
λ Ориона	Oe5	Ib	I
δ Ориона	B	Ib	I
Альциона (η Тельца)	B5	Ib	I
Сириус (α Большого Пса)	A	Ia	I
Альтаир (α Орла)	A5	Ia3 — IIa	I
Канопус (α Корабля Арго или Киля) .	F	Ia3 — IIa	I
Процион (α Малого Пса)	F5	Ia3 — IIa	I
Солнце, также Капелла (α Возничего)	G	IIa	II
k Близнецов	G5	IIa — IIIa	II
Арктур (α Волопаса)	K	IIa — IIIa	II
Альдебаран (α Тельца)	K5	IIa — IIIa	II
Бетельгейзе (α Ориона)	Ma	IIIa	III
Дивная Кита	Md	IIIa	III
19 Рыб	N	IIIв	IV

У некоторых звезд спектр водорода принимает вид, предсказанный из числовых соотношений в спектральных сериях, но никогда еще не полученный в лаборатории экспериментально*. Мы, однако, не можем сказать, на существование каких физических условий в таких звездах это указывает. Прямая аналогия ме

* Здесь речь идет о спектральной серии, открытой Пикерингом, которую сначала приписывали водороду, в настояще время известно, что эту серию спектральных линий дают атомы ионизованного гелия. — *Прим. ред.*

[illegible]ду спектрами типа III и спектрами солнечных пятен, [illegible]ющей в связи с доказанной более низкой температурой солнечных пятен, отмеченной в гл. IV, ясно указывает на уменьшение температуры от звезд типа II к звездам типа III, равно как и на изменения их спектров.

Распределение излучения в спектре

Вильзинг и Шейнер предприняли длинную серию спектрофотометрических наблюдений звезд различных спектральных типов Фогеля для исследования сравнительного распределения энергии в их спектрах. Эта работа была произведена с целью оценки температур,

Таблица 33

Распределение интенсивностей в звездных спектрах (по Вильзингу и Шейнеру)

Спектральный тип по Фогелю	Названия звезд		Интенсивность			
			0,448 μ	0,480 μ	0,584 μ	0,638 μ
Ia1	β Малого Пса α Дельфина	12 Гончих Собак α Пегаса	1 000	[illegible]	579	[illegible]
Ia2	α Андромеды γ Змееносца	γ Северной Короны γ Лиры	1 000	796	625	525
Ia3—IIa	α Треугольника δ Льва	ξ Близнецов δ Орла	1 000	[illegible]	[illegible]	845
Ib	γ Пегаса [illegible] Льва	η Льва [illegible] Пегаса	1 000	837	573	[illegible]
IIa	η Волопаса [illegible] Геркулеса	β Девы γ Лебедя	1 000	998	993	1 005
IIa—IIIa	α Овна δ Рака	ο Тельца [illegible] Змееносца	1 000	1 205	1 706	1 897
IIIa	α Ориона [illegible] Змеи	δ Девы [illegible] Стрельца	1 000	1 368	[illegible]	[illegible]

преобладающих на поверхности звезд, путем сравнения с распределением энергии, вычисленным для спектра абсолютно «черного тела». Их заключения таковы, что температура исследованных звезд закономерно изменяется в зависимости от спектрального типа их от высшей в 10 000° абс. до низшей в 3 000° абс. Так как в правильности выведенных температур есть некоторое сомнение, то я даю здесь то, что кажется более непосредственным и интересным, перечень их результатов, а именно, я даю среднее спектральное распределение для четырех (средних) звезд для каждого из семи исследованных спектральных классов. Спектры приравнены между собою для длины волны 0,448 μ.

Соответственно данным об энергии спектра, приведенным в гл. III, спектр Солнца должен относиться к типу Ia3 — IIa. Данные результаты показывают, что последовательность серии спектров, данная Фогелем только на основании рассмотрения характера фраунгоферовых линий, вполне подтверждается распределением интенсивностей в непрерывном спектре. Более того, данная последовательность есть естественная последовательность серии спектров от источников с температурами, все более и более низкими.

Эволюция солнечной системы

Пытливый ум постоянно стремится узнать, как понять наблюдаемое на небе и не можем ли мы познать отсюда эволюцию вселенной, включая и эволюцию солнечной системы. Философы высказывали неясные предположения об образовании солнечной системы, которые были превзойдены знаменитой небулярной гипотезой, предложенной в 1796 г. Лапласом. Видоизмененная через полвека открытием закона сохранения энергии, она предполагает газовую туманность с первоначальным вращением, простирающуюся за пределы орбиты Нептуна. В силу своего громадного протяжения туманность обладает потенциальной энергией, которая преобразовывалась в тепло, по мере сжатия туманности; это тепло доставляло энергию из-

лучения. Силы тяготения в туманности, противодействующие эффекту взаимного столкновения ее молекул, стремились произвести предполагаемое сжатие. В некоторый критический момент вращающаяся масса отделяла кольца, а эти последние, путем конденсации, породили планеты. Подобным образом планеты при конденсации отделили кольца, которые образовали спутники. В случае Сатурна кольцо так и осталось. Теория согласуется с тем обстоятельством, что планеты, спутники и Солнце вращаются преимущественно в одном и том же направлении, и что общая плоскость их орбит и их экваториальные плоскости приблизительно совпадают. Исключения в смысле обратного движения в 1796 г. не были известны и не были приняты в соображение Лапласом при последующих пересмотрах его теории Согласно Чемберлину и Мультону гипотеза Лапласа, даже видоизмененная работами Гельмгольца, Роша, Дарвина и других, явно несостоятельна в отношении многих явлений. Главнейшие из их числа связаны с невозможностью объяснить: 1) огромное расхождение между теперешним количеством вращения системы и тем, которое существовало первоначально; 2) значительный эксцентриситет некоторых планетных орбит и наклонность их плоскостей между собой и по отношению к солнечному экватору; 3) обратное вращение некоторых спутников в малый период обращения некоторых из них в сравнении с периодом вращения их родоначальной планеты; 4) неясность того, как могли отрываться кольца при сжатии туманности; была ли она газообразной или метеоритной структуры, и еще бо́льшая неясность от того, каким образом могло кольцо, если даже оно оторвалось, сконденсироваться в планету.

Чемберлин и Мультон предложили «планетезимальную гипотезу» эволюции солнечной системы. Они видят начало последней в спиральной туманности, состоящей из отдельных масс и частиц. Их гипотеза не зависит от истинности или ложности их дальнейшей мысли, что с течением времени две звезды могут настолько приблизиться одна к другой, что одна на другой вызовут возникновение колоссальных приливов

Появятся по два прилива на противоположных сторонах. Такие огромные возмущения, как здесь предполагается, вместе со стремлением к разрыву, вследствие сильного нагревания, должны вызвать извержение больших масс материи, сильно различающихся своим количеством на каждой области приливной волны. Относительное движение и притяжение обеих звезд должны стремиться изменить движение выброшенных масс в движения, периодические по орбитам вокруг их родоначальниц. В начале взаимодействия, когда возмущающие звезды были далеки и сила притяжения извергающей звезды преобладала, орбиты выброшенных масс были малы и периоды их обращения коротки При наибольшем приближении возмущающей звезды имело место противоположное. В результате должна образоваться спираль с двумя ветвями (рис. 108), содержащая многочисленные массы всех размеров, движущиеся по орбитам вокруг звезды родоначальницы (нашего Солнца) Поскольку внутренние орбиты имеют более короткие периоды, чем внешние, спираль должна все сильнее закручиваться и в конце концов утратить свою спиральную форму. Здесь начинается «планетезимальное» действие.

Взаимное притяжение многочисленных масс и столкновения между ними должно было повести или к осаждению меньших масс и частиц на большие, или к их обращению, как спутников, вокруг больших. Авторы показали, что столкновения ведут вообще к уменьшению эллиптичности предполагаемых орбит, так что большие планеты, претерпевшие большее число столкновений, должны были бы иметь орбиты, наиболее близкие к круговым. Легкие газы, в качестве атмосфер, должны были в самом начале быть утеряны меньшими планетами и спутниками согласно кинетической теории газов. Но с возрастанием их величины при падении на них различных частиц, поглощенные газы должны были быть выброшены из недр наружу возрастающим давлением, и, таким образом, атмосферы должны были снова появиться в позднейшее время у планет средней величины Большие планеты с самого начала удержали бы газы в виде атмосфер.

Многочисленные осколки, называемые астероидами, однако, сохранились в первоначальном виде из-за отсутствия вблизи них больших масс, способных к их захвату. Эксцентриситеты и большие наклонности орбит свидетельствуют о сравнительно редких столкновениях между ними. Обратные движения и относительно большие скорости, встречающиеся у спутников в настоящее время, по мнению Мультона и Чемберлина, трудности не представляют.

Плоскость вращения Солнца они мыслят измененной падением на него большого количества, выброшенного и не размещенного на определенных орбитах, материала. Возможно, что первоначальная плоскость вращения составляла значительный угол с ее современным положением, но путем таких столкновений была приближена к средней плоскости планетных орбит *.

Звездная эволюция

Теперь мы рассмотрим немного подробнее общепринятый взгляд, состоящий в том, что из туманности произошли звезды и что звезды прошли через ряд последовательных температур и далее, что подобно Земле и Луне, они, наконец, должны будут притти в охлажденное состояние. Рис. 105—110 дают ряд форм туманностей **, переходящих от хаотической туманности Ориона и Лебедя к прекрасно развитым спиральной и кольцеобразной формам туманностей Андромеды и Лиры. Число туманностей, доступных наблюдениям с помощью рефлектора обсерватории на горе Вильсона, по всей вероятности, достигает миллиона. Рис. 96 (стр. 363) показывает, что звезды Плеяд все окутаны туманностью и до сих пор, повидимому, находятся в процессе конденсации. Эта особенность присуща и

---

* В настоящее время гипотеза Мультона и Чемберлина оставлена. Спиральные туманности представляют скопление звезд, подобных нашему Млечному Пути (галактике), имеющих огромный поперечник в несколько сотен световых лет. Подобные спиральные звезды системы вряд ли могут образоваться в результате столкновений или притяжения двух звезд. — *Прим. ред.*

** Весьма сомнительно, чтобы мы могли интерпретировать этот ряд форм как расположенный в порядке их развития.



Рис. 105. Большая туманность Ориона (Ричи).

Снято 2-футовым рефлектором Иеркской обсерватории 19 октября 1901 г. Экспозиция 1 час. Пластинки Cramer Crown.



Рис. 106. Туманность NGC 6992 Лебедя (Ричи).

Снято 2-футовым рефлектором Иеркской обсерватории 5 октября 1901 г. Экспозиция 3 часа. Пластинки Cramer Crown.

другим группам звезд и отмечена у некоторых звезд Ориона. Звезды типа Ориона имеют придатки в виде туманностей и к тому же эти звезды обладают чрезвычайно малой плотностью, но полагая, что туманности являются вероятными предшественниками звезд, почему же, однако, мы убеждены, что во времени они являются начальным, а не последним звеном в цепи? Мы знаем, что тяготение стремится конденсировать материю, будь то путем захвата метеоров Землей, или, при благоприятных условиях, вследствие молекулярных столкновений, как того требует небулярная гипотеза Лапласа, или же при столкновении метеоров на их орбитах, как предполагают Чемберлин и Мультон (Moulton). В каждом из этих случаев направленная к центру сила тяготения неизбежно стремится стягивать замедленные частицы. За исключением тенденции к взрыву при тесном сближении двух звезд, к которой обращаются Чемберлин и Мультон, и рассеяния газа вследствие подвижности молекул, согласно Джонстону Стонею (Stoney), мы не знаем ни одной причины, могущей рассеять части, составляющие звезды и туманности. Это потребовало бы колоссального расхода энергии, возможные источники которой, кроме только что указанных, трудно себе представить. Вероятность тесного сближения двух звезд с первого взгляда должна быть очень мала; по подсчетам Ньюкома выходит, что на сферу с радиусом в 412 500 раз больше радиуса земной орбиты в среднем приходится одна звезда, доступная наблюдению.

С другой стороны, процессы длятся триллионы лет и число звезд в пространстве настолько велико, что такие близкие столкновения могут случаться довольно часто, с промежутком в несколько тысячелетий. Мы еще вернемся к вопросу о роли случайности в звездной эволюции.

В пространстве имеется большое количество туманной материи, крайне малой плотности, но чрезвычайно протяженной. Часть ее способна светиться, но в большинстве она темная и выдает свое существование лишь благодаря затмеванию или ослаблению звезд, которые лежат позади нее. Обыкновенно предполагается, что



Рис. 107. Большая туманность Андромеды (Ричи).

[illegible] 1 [illegible] зиция 4 часа. Пластинки Cromer Crown.

эта туманная материя должна являться тем материалом, из которого построены звезды.

Милликэн (Millican) считает, что он, имеет, повидимому, подтверждение того, что процесс создания химических атомов из атомов водорода протекает в туманностях. Это зависит от интерпретации так называемых космических лучей. Милликэн и его коллеги, продолжая начатые за границей исследования, смогли показать, что лучи, способные проникнуть приблизительно сквозь 200 *м* воды, падают на Землю во всех направлениях. Из измерения их проникающей силы оказалось, что эти лучи характеризуются длиной волны, несравненно меньшей, чем длина волны лучей Рентгена, которые в свою очередь имеют длину волны гораздо короче лучей ультрафиолетовых.

Приложение принципа относительности и теории спектра показывает, что три основные группы длин волн, присущие космическим лучам, соответствуют возмущениям, которые возникли бы при создании из водорода, как основы, атомов приблизительно атомного веса гелия, кислорода и кремния. Но они представляют средние атомные веса групп элементов, наиболее сильно представленных в газовых туманностях и в природе вообще. Водород и гелий в туманностях были известны давно. Теперь показано, что азот и кислород являются ее главными составными частями и что группа кремния тоже представлена. Что формирование атомов имеет свое начало в туманности, а не в звездах, Милликэн заключает, во-первых, потому, что космические лучи не исходят предпочтительно от Млечного Пути, где лежит большинство звезд; во-вторых, потому, что наиболее проникающие из лучей известных нам, космические лучи не могут проникнуть сквозь толщу материи, соответствующую толще воды в 200 *м*; поэтому эти лучи не могут итти из глубоких недр звезд.

Итак, под влиянием неизвестных причин оказывается, что процесс формирования материи активно протекает везде вокруг нас. У нас на глазах непрерывно во всех частях пространства образуются химические элементы путем сращивания атомов водорода в другие



Рис. 108. Спиральная туманность M 51 Гончих Собак (Ричи).
[illegible] самым [illegible] ктором Солнечной обсерватории на гор. Вильсон. Экспозиция 10¾ час. Пластинки Seed 23.

формы. Мы еще далеки от понимания того явления, при котором создается водород, или тех путей, которые, как указано, ведут к образованию других элементов.

Как бы то ни было, признавая, что туманности могут являться ареной созидания атомов всех элементов, и тем самым быть складом звездного материала, мы можем теперь обратиться к мыслям Джинса, дающим вероятную картину дальнейшей эволюции звездных галактик и солнечных систем. Отнюдь *не следует* думать, что все нижеследующее *совершенно достоверно*, напротив, оно в высокой степени *спекулятивно*.

Сотни тысяч туманностей открыты большими фотографическими телескопами; формы этих туманностей идут от сферической через эллипсоидальную и веретенообразную к спирали, состоящей из двух ветвей, как изображено на рис. 111 (стр. 389). Джинс начинает с того, что под действием тяготения колоссальные массы материи туманностей были собраны в сферические формы, из которых каждая достаточна для будущей галактики. Этой сферической форме вращение придало эллипсоидальный вид, как это произошло с нашей собственной Землей. Сжатие под действием тяготения увеличивало угловую скорость и усиливало эллиптичность, перешедшую в конце концов в чечевицеобразную форму. По мере растягивания острого края этой формы она, наконец, достигла такого громадного протяжения, что сила тяготения едва может удерживать его внешние части.

Теперь берет верх до сего времени неощутимая сила, результирующая силы притяжения всей остальной материи вселенной. Эта сила имеет некоторое определенное направление, и один из ее компонентов действует вдоль экваториального диаметра чечевицеобразной туманности. Их действие возбуждает приливный эффект, вздымая материю на самой близкой и самой далекой сторонах совершенно так же, как притяжение Солнца или Луны создает прилив в океанах. Прежде уравновешивавшая сила притяжения по направлению к центральным частям туманности уже недостаточна, чтобы противостоять силе такого прилива, и материя

начинает истекать наподобие струй с двух противоположных концов экваториального сечения.

Это дает начало образованию спирали, состоящей из двух ветвей. Линейная скорость кругового движения на поверхности чечевицы, которой наделяется истекающая материя, все более и более отстает от угловой скорости, необходимой для поддержания общего кругового движения, так что ветви отбрасываются приливной силой все дальше и дальше. Поэтому ветви изгибаются и принимают вид типичной спиральной туманности, подобной большой туманности Андромеды или туманности, изображенной на рис. 108.

Однако начинает происходить и другой процесс. Совершенно так же, как вода, выброшенная из рукава сплошной струей, распадается на капли, спиральные ветви туманности, согласно законам динамики, распадаются на сгустки. Внутри каждого сгустка протекает процесс формирования вторичной спирали до тех пор, пока количество остающейся материи не окажется слишком малым для дальнейшего деления. Таким путем вся первоначальная туманность растекается сперва на пару жгутообразных спиральных ветвей, затем они распадаются на сгустки, которые подобным же образом растекаются во вторых спиралях. И, наконец, вся масса, следуя законам динамики, распадается на дочерние массы, по величине подобные звездам, многие из которых формируются в двойные звезды или в группы, беря свое происхождение от вторичных спиралей.

В этих звездах-зародышах материя еще чрезвычайно разрежена. Теперь начинается процесс уплотнения с постепенным возрастанием температуры, как изложено в гл. VI при рассмотрении теории Солнца. Наконец, центральная температура и давление становятся настолько высокими, что как мы предполагаем, вблизи центра начинается взаимное уничтожение (аннигиляция) протонов и электронов, служащая источником энергии радиации. По прошествии триллионов лет оставшаяся масса становится настолько уменьшенной, что условия в ее центре перестают быть благоприятными для этого процесса. Тогда поверхность лишается необходимого



Рис. 109. Туманность H. V. 21 (Ричи)



Рис. 110. Кольцеобразная туманность Лиры (Ричи)

Сняты 5-футовым рефлектором Солнечной обсерватории на гор. Вильсона. Экспозиция верхнего снимка 5 час. (пластинки Seed 23) 6 марта 1910 г.; экспозиция нижнего снимка 45 мин. (пластинки Seed process) 1 июля 1910 г



Рис. 111. Предполагаемая эволюция спиральных туманностей (фотографии, сделанные Солнечной обсерваторией на горе Вильсона).

притока энергии, остывает и, наконец, сфера перестает светиться.

Если история галактик и звезд именно такова, то очевидно, что общий вид галактики, до некоторой степени, может быть представлен колесом, имеющим большой диаметр и малую толщину. Рис. 108 и 109 дают нам действительную форму известных спиралей. Как теперь хорошо известно, такова же и форма нашей собственной галактики: ее звезды в количестве, доходящем до 30 000 000 000, рассеяны далеко в плоскости Млечного Пути. Мы можем предположить существование в пространстве других галактик, подобных нашей. Согласно исследованию Хэббла последние так удалены, что свету требуется миллион лет и более, чтобы пройти эти расстояния. И теперь мы видим их в тех лучах, которые вышли в далекие геологические эпохи.

Важно принять в соображение и другой фактор звездной эволюции. В нашей собственной галактике среди группы в 30 биллионов звезд, существующих триллионы лет и обладающих индивидуальными скоростями в 10 20 *км сек* во всевозможных направлениях, нельзя игнорировать возможность случайного тесного сближения двух звезд между собою. В таком случае каждая из сближающихся звезд должна вызвать высокий прилив, который в конечном счете расплывается в жгутообразные спиральные ветви, как изложено выше. Здесь, однако, будет та разница, что встреча будет кратковременной и истечение материи из центральных масс звезд прекратится, оставляя нерассеянной бо́льшую часть массы звезды.

Таким именно образом нужно представлять себе происхождение солнечной системы, подобной нашей. Воссоединение разбросанных спиральных рукавов образовало планеты, в том числе и нашу Землю. Если так, то где-нибудь в пространстве должна существовать по крайней мере еще одна солнечная система, подобная нашей, и, весьма вероятно, что их существует еще много. И невольно встает вопрос об обитаемости этих других миров, — вопрос, с которым справиться может одно только воображение.

Дополнение

РЕГИСТРАЦИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДНЕЙ НА ЗЕМНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Проф. Е. Я. Перепелкин.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СЛУЖБА СОЛНЦА

Индексы Солнца. — Карты солнечной поверхности. — Извержения на Солнце.

В настоящее время многие астрономические обсерватории, расположенные в различных частях земного шара, изо дня в день систематически наблюдают солнечную поверхность. В результате этих наблюдений астрономы определяют особые числа — индексы, характеризующие солнечную деятельность с самых разнообразных точек зрения. В этой главе читатель познакомится с указанными индексами и картами солнечной поверхности. В следующей главе читатель найдет изложение результатов сопоставления солнечной деятельности с рядом земных явлений.

Индексы Солнца

Наиболее старым индексом солнечной деятельности является относительное число пятен, введенное во второй половине прошлого века швейцарским астрономом Вольфом. Если g — число групп солнечных пятен, наблюдаемых на диске Солнца, а f — число отдельных пятен, то относительное число пятен r определится по формуле:

$$r = k\ (10g + f),$$

где k — численный коэфициент, назначение которого сделать наблюдения, произведенные разными лицами

в различные инструменты, сравнимыми между собой. Вольф считал для себя и для своего инструмента k = 1 и приводил все современные ему наблюдения к «своей системе». Он обработал все наблюдения Солнца, произведенные с начала XVII в. до его времени, и вывел значение своего индекса для этого времени. Наблюдения Вольфа продолжили в Цюрихской обсерватории его ученики Вольфер и Бруннер. Результаты этих наблюдений публикуются в изданиях Цюрихской обсерватории, а также в ряде периодических изданий. Для тех дней, в которые не производились наблюдения Солнца в Цюрихе, относительные числа определяются по наблюдениям, произведенным на других обсерваториях. Цюрихская обсерватория имеет обширную сеть корреспондентов, причем большую помощь оказывают астрономы-любители с большим наблюдательским стажем.

В табл. 34 даны средние годичные значения относительных чисел пятен с 1749 по 1934 г.

Звездочками в таблице отмечены годы максимумов солнечной деятельности; периоды солнечной деятельности, начиная с годов минимума, отделены один от другого горизонтальными прямыми.

Одним из недостатков этого наиболее распространенного индекса является сравнительно плохое схождение между собой определений отдельных наблюдателей. К тому же этот индекс не имеет вполне определенного физического или геометрического смысла. При всех своих недостатках этот индекс обладает наибольшей давностью; деятельность Солнца оценена им за два века; это имеет решающее значение при изучении многих вопросов физики Солнца, а также геофизики.

В настоящее время для солнечных пятен существует другой индекс, имеющий вполне определенный геометрический смысл, определения которого обладают сравнительно высокой точностью. Этим индексом является сумма всех площадей пятен (включая их полутень и ядра), наблюдаемых в данный момент, выраженная в миллионных долях диска Солнца или солнечной полусферы. В последнем случае учитываются перспек-

Таблица 34

Относительные числа пятен в 1749 — 1931 гг.

Годы	Относ. числа пятен	Годы	Относ. числа пятен	Годы	Относ. числа пятен	Годы	Относ. числа пятен	Годы	Относ. числа пятен
1749	80,9	1786	82,9	1823	1,8	1860	95,7*	1897	26,2
1750	83,4*	1787	132,0*	1824	8,5	1861	77,2	1898	26,7
1751	47,7	1788	130,9	1825	16,6	1862	59,1	1899	12,1
1752	47,8	1789	118,1	1826	36,3	1863	44,0	1900	9,5
1753	30,7	1790	89,9	1827	49,7	1864	47,0	1901	2,7
1754	12,2	1791	66,6	1828	62,5	1865	30,5	1902	5,0
1755	9,6	1792	60,0	1829	67,0	1866	16,3	1903	24,4
1756	10,2	1793	46,9	1830	71,0*	1867	7,3	1904	42,0
1757	32,4	1794	41,0	1831	47,8	1868	37,3	1905	63,5*
1758	47,6	1795	21,3	1832	27,5	1869	73,9	1906	53,8
1759	54,0	1796	16,0	1833	8,5	1870	139,1*	1907	62,0
1760	62,9	1797	6,4	1834	13,2	1871	111,2	1908	48,5
1761	85,9*	1798	4,1	1835	56,9	1872	101.7	1909	43,9
1762	61,2	1799	6,8	1836	121,5	1873	66,3	1910	18,6
1763	45,1	1800	14,5	1837	138,3*	1874	44,7	1911	5,7
1764	36,4	1801	34,0	1838	103,2	1875	17,1	1912	3.6
1765	20,9	1802	45,0	1839	85,8	1876	11,3	1913	1,4
1766	11,4	1803	43,1	1840	63,2	1877	12,3	1914	9,6
1767	37,8	1804	47,5*	1841	36,8	1878	3,4	1915	47,4
1768	69,8	1805	42,2	1842	24,2	1879	6,0	1916	57,1
1769	106,1*	1806	28,1	1843	10,7	1880	32,3	1917	103,9*
1770	100,8	1807	10,1	1844	15,0	1881	54,3	1918	80,6
1771	81,6	1808	8,1	1845	40,1	1882	59,7	1919	63,6
1772	66.5	1809	2,5	1846	61,5	1883	63,7*	1920	37,6
1773	34,8	1810	0,0	1847	98,5	1884	63,5	1921	26,1
1774	30,6	1811	1,4	1848	124,3*	1885	52,2	1922	14,2
1775	7,0	1812	5,0	1849	95,9	1886	25,4	1923	5,8
1776	19,8	1813	12,2	1850	66,5	1887	13,1	1924	16,7
1777	92,5	1814	13,9	1851	64,5	1888	6,8	1925	44,3
1778	154,4*	1815	35,4	1852	54,2	1889	6,3	1926	63,9
1779	125,9	1816	45,8*	1853	39,0	1890	7,1	1927	69,0
1780	84,8	1817	41,1	1854	20,6	1891	35,6	1928	77,8*
1781	68,1	1818	30,4	1855	6,7	1892	73,0	1929	65,0
1782	38,5	1819	23,9	1856	4,3	1893	84,9*	1930	35,7
1783	22,8	1820	15,7	1857	22,8	1894	78,0	1931	21,2
1784	10,2	1821	6,6	1858	54,8	1895	64,0	1932	11,1
1785	24,1	1822	4,0	1859	93,8	1896	41,8	1933	5,7
								1934	8,7

тивные искажения пятен в зависимости от их положения на диске Солнца. Весьма большую точность приобрели определения площадей пятен, когда применили фотографию. В настоящее время солнечная поверхность ежедневно фотографируется на многих обсерваториях на мелкозернистых (диапозитивных) пластинках специальными инструментами — фотогелиографами. Наилучшая коллекция снимков Солнца имеется в Гриничской обсерватории, где ежедневно фотографируют Солнце с 1874 г. Для тех дней, для которых в Гриниче не имеется снимков Солнца, астрономы этой обсерватории промеряют негативы, полученные на других обсерваториях, присылающих недостающие снимки в Гринич. Кооперируя с Капской и Кодайканальской обсерваториями, Гриничская обсерватория дает данные для площадей пятен на каждый день года. На этих же снимках солнечной поверхности хорошо видны светлые образования — факелы; факелы особенно ярки близ краев солнечного диска. Индексом факелов служит их площадь, выражаемая, как в случае пятен, в миллионных долях площади диска Солнца или солнечной полусферы.

В табл. 35 даны по данным Гриничской обсерватории площади пятен и факелов в миллионных долях, как диска Солнца, так и полусферы.

В СССР площади солнечных пятен определяются ежедневно в южном отделении Пулковской обсерватории — в Симеизе, в Харькове и Ташкенте; площадь факелов определяется только в Симеизе. Сравнение данных обеих приведенных таблиц показывает, что ход солнечной активности, оцениваемый различными индексами, в общих чертах одинаков, хотя в отдельных частях он иногда заметно разнится. Если бы мы сравнили месячные и даже дневные значения разных индексов, то мы обнаружили бы еще большее различие.

Из других образований Солнца, индексы которых имеют большую давность, следует назвать индекс водородных протуберанцев, наблюдаемых через спектроскоп, привинчиваемый к астрономической трубе. Способ ежедневных наблюдений протуберанцев был

Таблица 35

Площади пятен и факелов в 1874 – 1932 гг.

Годы	Площади в миллионных долях				Годы	Площади в миллионных долях			
	диска		полусферы			диска		полусферы	
	пятна	факелы	пятна	факелы		пятна	факелы	пятна	факелы
1874	[illegible]	626	604	904	1904	653	1 639	488	1 761
1875	[illegible]	[illegible]	218	503	1905	1 637	2 433	1 191	2 612
1876	175	217	126	257	1906	1 047	2 207	778	2 320
1877	150	[illegible]	103	162	1907	1 458	1 859	[illegible]	[illegible]
1878	34	62	22	67	1908	952	2 000	697	[illegible]
1879	55	129	38	136	1909	941	1 303	692	1 353
1880	538	813	440	921	1910	357	984	264	971
1881	946	1 723	681	1 951	1911	88	458	64	459
1882	1 293	2 015	1 000	2 154	1912	50	201	37	210
1883	1 600	1 605	1 154	[illegible]	1913	10	87	7	95
1884	1 458	1 698	1 079	2 034	1914	195	[illegible]	152	454
1885	1 125	1 251	867	1 405	1915	920	[illegible]	697	1 521
1886	527	473	381	579	1916	978	1 512	724	1 785
1887	243	256	179	301	1917	2 100	1 882	1 537	2 305
1888	125	204	80	239	1918	1 504	1 526	1 118	1 832
1889	103	107	78	131	1919	1 437	1 445	1 052	1 729
1890	133	273	99	304	1920	837	1 052	618	1 219
1891	745	1 322	569	1 412	1921	571	647	420	743
1892	1 596	3 230	1 214	3 270	1922	346	358	252	415
1893	1 983	2 257	1 464	2 404	1923	74	169	55	222
1894	1 723	1 656	1 282	1 877	1924	361	[illegible]	276	575
1895	[illegible]	2 059	974	2 278	1925	1 102	1 508	830	1 750
1896	745	1 243	543	1 410	1926	1 651	2 154	1 262	2 551
1897	695	977	514	1 149	1927	1 417	1 812	1 058	2 212
1898	582	767	375	891	1928	1 884	2 134	1 390	2 589
1899	159	297	111	337	1929	1 695	2 190	1 242	2 567
1900	101	150	75	180	1930	705	1 378	516	1 630
1901	41	23	29	29	1931	372	679	275	801
1902	86	163	62	178	1932	216	335	163	400
1903	434	875	340	970					

предложен в 1869 г., и с того времени сохранились результаты многочисленных наблюдений. Индексом протуберанцев является сумма их видимых площадей, выраженная в особых единицах; высота протуберанца измеряется в секундах дуги, а ширина — в градусах окружности солнечного диска. Следует заметить, что площадь протуберанцев определяется плохо, завися в сильной степени от прозрачности атмосферы, искусства наблюдателя и качества инструмента. В табл. 36 даны площади протуберанцев по данным обсерватории в Арчетри (Флоренция).

Таблица 36

Площадь водородных протуберанцев для 1880—1933 гг.

Годы	Площади протуберанцев	Годы	Площади протуберанцев	Годы	Площади протуберанцев	Годы	Площади протуберанцев
1880	464	1894	366	1908	351	1922	440
1881	728	1895	306	1909	300	1923	390
1882	605	1896	250	1910	274	1924	522
1883	561	1897	229	1911	140	1925	676
1884	627	1898	188	1912	120	1926	1 383
1885	496	1899	151	1913	124	1927	1 117
1886	367	1900	102	1914	382	1928	1 057
1887	388	1901	92	1915	847	1929	896
1888	284	1902	161	1916	843	1930	571
1889	123	1903	233	1917	1 279	1931	511
1890	147	1904	278	1918	1 019	1932	407
1891	337	1905	375	1919	891	1933	404
1892	419	1906	402	1920	731		
1893	330	1907	396	1921	632		

В СССР водородные протуберанцы наблюдаются ежедневно на Ташкентской обсерватории.

Изобретение спектрогелиографа открыло перед исследователями Солнца невидимый до тех пор мир новых солнечных образований — флоккулов — белых

пятен на снимках, полученных посредством спектрогелиографа в свете средних частей спектральных линий $H\alpha$ водорода и К кальция.

Флоккулы — это области поверхности Солнца, где фраунгоферовы линии представляются менее темными. Точное физическое объяснение этих образований до сих пор не найдено. Эти образования тесно связаны с активными областями солнечной поверхности. И действительно, спектрогелиограф показывает, что светлые флоккулы обычно окружают группы солнечных пятен и факелов. Хотя фотографирование Солнца посредством спектрогелиографа производилось на нескольких обсерваториях еще 25 лет назад, систематические наблюдения такого рода начались только в 1917 г. Различают три рода флоккулов: кальциевые флоккулы, водородные светлые флоккулы и водородные темные флоккулы, называемые часто волокнами. Волокна представляют собой протуберанцы, проектирующиеся на диск Солнца и поглощающие свет последнего в узких спектральных участках. Число всех перечисленных флоккулов оценивается по пятибалльной шкале, причем 0 соответствует почти полное отсутствие флоккулов, а 5 — большое число ярких флеккулов.

В табл. 37 даны средние числа различного рода флоккулов по пятибальной шкале по данным Международного астрономического союза.

Как показывают статистические исследования, изменение со временем числа светлых флоккулов кальция и водорода, тесно связанных с группами солнечных пятен и факелов, идет почти параллельно последним.

Последним из солнечных индексов, получивших широкое распространение, является индекс изменении ультрафиолетового излучения Солнца. Это самый молодой индекс; систематические наблюдения Солнца для определения этого индекса начаты только в 1924 г. и ведутся на обсерватории на горе Вильсона в Калифорнии. Наблюдения ведутся посредством термоэлемента, закрываемого поочередно на короткое время то посеребренной кварцевой пластинкой, пропускающей только ультрафиолетовые лучи с длиной волны около 0,32 μ, то золоченой кварцевой пластинкой, пропу-

Таблица 37

Числа флоккулов для 1917—1934 г.

Годы	Кальциевые флоккулы	Светлые водородные флоккулы	Темные водородные флоккулы
1917	3,05	3,61	2,43
1918	2,73	2,38	2,51
1919	2,50	2,57	2,11
1920	1,83	2,15	1,80
1921	1,27	1,39	1,38
1922	0,82	0,65	0,78
1923	0,68	0,33	0,43
1924	1,08	0,77	0,84
1925	2,02	1,52	1,15
1926	2,61	2,10	2,38
1927	2,53	2,03	2,00
1928	2,90	2,53	2,64
1929	2,83	2,58	2,55
1930	1,96	1,59	1,92
1931	1,39	1,06	1,23
1932	0,72	0,58	0,51
1933	0,37	0,30	0,35
1934	0,61	0,54	0,61

скающей зеленые лучи. Солнечные лучи, проходя через кварцевую пластинку, нагревают спаи термоэлемента, полученный термоток отклоняет зеркало гальванометра, показания которого регистрируются фотографически.

На фотографической бумаге запись гальванометра имеет вид двух пунктирных кривых энергии Солнца, упавшей на термоэлемент, в двух участках его спектра. Вся установка снабжена часовым механизмом, перемещающим ее за суточным движением Солнца. Поскольку мы имеем дело с узкими участками солнечного спектра, мы можем применить формулу Бугэ и определить за пределами земной атмосферы, в едини-

цах данного инструмента, отношение излучения Солнца с длиной волны 0,32 μ к излучению с длиной волны 0,50 μ.

Астроном Петтит, разработавший изложенный метод, принял это искомое отношение излучении Солнца в указанных длинах волн в июне 1924 г. за 1. Результаты определений этого индекса представлены в табл. 38.

Таблица 38

Индекс ультрафиолетовой радиации Солнца для 1924—1934 гг.

Годы	Ультрафиолетовое излучение	Годы	Ультрафиолетовое излучение
1924	1,07	1930	1,22
1925	1,38	1931	1,07
1926	1,37	1932	0,96
1927	1,35	1933	1,03
1928	1,23	1934	1,04
1929	1,27		

Найденные изменения ультрафиолетового излучения Солнца в общих чертах согласуются с изменениями других индексов солнечной деятельности. С 1917 г. для многих индексов солнечной деятельности даются сведения как для всего диска Солнца, так и для центральной зоны, лежащей внутри круга с радиусом, равным половине радиуса солнечного диска.

Карты солнечной поверхности

Во многих странах в настоящее время издаются специальные солнечные карты, дающие расположение главнейших деталей на поверхности Солнца. На рис. 112 изображена одна из таких карт, изданная Международным астрономическим союзом и Медон-

лять время их прохождения через центральный меридиан или, в случае кратковременного явления на Солнце, определять его расстояние от центра солнечного диска. Обе эти задачи легко решаются с помощью карты солнечной поверхности.

На этих картах наиболее крупные солнечные пятна изображаются кружком, размер которого соответствует размеру пятна. Флоккулы представляются областями, темнота которых передает интенсивности флоккулов; очертания областей соответствуют среднему очертанию флоккулов за время их прохождения через центральные части солнечного диска. Продолговатые образования на карте представляют собой волокна, т. е. протуберанцы, проектирующиеся на солнечный диск. Около некоторых волокон напечатаны цифры, указывающие, который оборот Солнца наблюдается данное волокно; отсутствие цифры показывает, что волокно наблюдается впервые.

Начерченные наверху вертикальные черточки с обозначениями часов и минут указывают гриничское время получения снимков Солнца в дни наблюдений. Цюрихская обсерватория издает подобные же солнечные карты, на которых нанесены только солнечные пятна и факелы. Солнечные пятна на этих картах изображены более подробно, чем на медонских картах. В СССР аналогичные карты изготовляет Пулковская обсерватория.

Извержения на Солнце

Ежедневные систематические наблюдения Солнца с помощью спектрогелиографа показали, что на Солнце время от времени появляются весьма яркие водородные флоккулы. Их неожиданное появление и их короткое существование заставляют их сравнивать с настоящими извержениями. Эти яркие флоккулы занимают колоссальные области солнечной поверхности диаметром в 30 000 *км* и больше. Эти извержения наблюдаются в течение непродолжительного времени — 1—3 часа и даже меньше. На рис. 113 изображен снимок Солнца, полученный в свете линии водорода $H\alpha$



Рис. 113. Извержение водородного флоккула (снято на Медонской обсерватории 13 октября 1926 г. в 13ч 15м среднего гриничского времени)

13 октября 1926 г. посредством спектрогелиографа Медонской обсерватории.

В середине снимка видно изображение весьма яркого водородного флоккула. Как большинство подобных извержений, извержение 13 октября было связано с группой солнечных пятен. Это извержение наблюдалось менее трех часов. Исследование скоростей (в конце извержения) по лучу обнаружило опускание газа с огромной скоростью, свыше 100 *км/сек*.

Систематические наблюдения солнечной поверхности в свете линии водорода Hα, производимые посредством изобретенного Хэлом спектрогелиоскопа, позволили установить, что извержения флоккулов не представляют собой исключительно редкого явления. В связи с тем теоретическим и практическим интересом, который представляют подобные наблюдения извержений флоккулов, астрономы организовали систематические наблюдения Солнца посредством спектрогелиоскопа в различных странах.

Свыше 20 однотипных спектрогелиоскопов было изготовлено в Америке для различных обсерваторий и других научных учреждений. По мысли астрономов эти спектрогелиоскопы будут установлены в различных частях земного шара более или менее равномерно по долготе. Таким образом Солнце можно будет наблюдать почти непрерывно. В СССР спектрогелиоскопы устанавливаются в Симеизе, Харькове и Абас-Тумане.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ЗЕМНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Суточные колебания магнитного поля Земли — Распространение радиоволн. — Магнитные бури и полярные сияния. — Влияние солнечной деятельности на гидрометеорологические явления.

Суточные колебания магнитного поля Земли

В 1772 г. Грахман (Graham) в Лондоне открыл колебания характеристик земного магнитного поля с периодом в 1 сутки. Как мы уже видели, Вольф, Ламонт (Lamont) и другие ученые, независимо друг от друга, обнаружили хорошее согласие между величиной амплитуды суточных колебаний характеристик земного магнитного поля и числом солнечных пятен. Однако, как показывает детальное сопоставление кривых колебаний магнитных характеристик и различных солнечных индексов, первые не идут вполне параллельно вторым.

Это сходство хорошо наблюдается у кривых, построенных по средним годичным значениям. Если будем сопоставлять месячные значения колебаний характеристик магнитного поля и разных индексов солнечной деятельности, то согласие будет значительно хуже. В случае же средних суточных значений мы с трудом обнаружим следы сходства. Это показывает, что нам неизвестно, какое именно явление на Солнце больше всего оказывает влияние на земное магнитное поле. В статистике употребляется специальная величина, так называемый коэфициент корреляции, который показывает, насколько тесна связь между изменениями двух каких-нибудь переменных функций. Если изменения одной функции не зависят от изменений другой, коэфициент корреляции равен 0.

Если же между их изменениями имеется однозначная строгая математическая зависимость, этот коэфициент равен +1 или −1. Знак + соответствует случаю, когда увеличению значений одной функции соответствует увеличение же другой функции, знак — соответствует противоположному случаю. Правильная положительная или отрицательная дробь для значения коэфициента корреляции соответствует промежуточным случаям: чем ближе этот коэфициент к 1, тем больше сходства между изменениями функций.

Сопоставление кривых средних годичных значений амплитуды суточных колебаний склонений магнитной стрелки в Гринвиче и солнечных индексов для 1910—1931 гг. привело к следующим значениям коэфициента корреляции:

площадь пятен — склонение .	0,76
площадь факелов — склонение	+0,84
площадь водородных протуберанцев — склонение .	+0,70

Эти числа свидетельствуют об отсутствии строгой математической зависимости между магнитными и солнечными явлениями, хотя связь между ними достаточно велика. Интересно отметить, что факелы дают лучшее согласие, чем пятна.

Почти 60 лет назад английский ученый Бальфур Стюарт (Balfour Stewart) высказал предположение, что верхние слои земной атмосферы заряжены электрически и что суточные изменения характеристик земного магнитного поля вызваны колебаниями этих слоев. После исследований Хивисайда (Heaviside) и Кеннели (Kennelly) в 1902 г. гипотеза о существовании наэлектризованного слоя в верхних частях атмосферы вошла в науку как факт; сам слой получил название ионосферы. В настоящее время имеется ряд прекрасных методов исследования ионосферы, основанных на измерении распространения коротких радиоволн. О них еще будет итти речь. Эти исследования показали, что днем ионосфера содержит примерно в 20 раз больше заряженных частиц воздуха — ионов, чем ночью. Суточные пульсации ионосферы по отношению к земной поверхности и изменение ее электри-

ческой заряженности с тем же периодом создают в высших слоях атмосферы электрические токи, магнитное поле которых, накладываясь на постоянное магнитное поле Земли, вызывает колебания характеристик последнего.

Ряд остроумных гипотез был предложен для объяснения причины пульсаций ионосферы. Мы не будем на них останавливаться. Из указанного становится ясным, что большая часть зарядов ионосферы вызвана действием Солнца. Амплитуда суточных колебаний характеристик земного магнитного поля пропорциональна числу ионов в ионосфере, а последнее — силе солнечного воздействия. Каким же образом Солнце может ионизовать высшие слои земной атмосферы?

На этот вопрос имеются два ответа: или поток материальных частиц, выброшенных с огромной скоростью из Солнца, бомбардируя слои земной атмосферы, их ионизирует, или ультрафиолетовые лучи Солнца, поглощаясь в верхних частях атмосферы, вызывают ее ионизацию. И то и другое предположение одинаково возможны. Повидимому, ни пятна, ни факелы, ни флоккулы, ни протуберанцы не являются теми непосредственными причинами, которые ионизируют земную атмосферу. Это вытекает хотя бы из того обстоятельства, что коэфициент корреляции между солнечными индексами и средней амплитудой суточных колебаний характеристик земного магнитного поля уменьшается по мере того, как мы берем все меньшие промежутки времени: годичные, полугодичные, месячные, декадные и т. д. Все перечисленные солнечные индексы, однако, в среднем, за годичный промежуток времени, достаточно хорошо определяют солнечную деятельность в целом, и в частности, повидимому, также и те неизвестные активные области солнечной поверхности, которые вызывают изменения в ионизации ионосферы.

В Пулковской обсерватории подошли к решению задачи о влиянии Солнца на ионосферу по-новому и, повидимому, нашли путь для ее правильного решения. С 1928 г. в Пулкове в летние месяцы производится фотографирование спектров протуберанцев. Изучение

снимков спектров показало, что две близлежащие друг к другу линии спектра протуберанцев Hε и H, принадлежащие водороду и кальцию (ионизированному), меняют свою относительную яркость: на одних снимках линия Hε почти не видна, тогда как линия H ярка, на других она одинаковой яркости с линией H. Эти линии обладают различными потенциалами возбуждений; для возбуждения линии водорода нужна значительно бо́льшая энергия, чем для линии кальция. При температуре Солнца в 6 000° соотношение между интенсивностями линий будет вполне определенное. Если по соседству с протуберанцем находится активная область, богатая ультрафиолетовой радиацией с длиной волны, меньшей 0,1 μ, или получающая потоки быстрых частиц, то относительная интенсивность указанных линий в спектре протуберанцев сильно изменится: линия Hε возрастет по своей интенсивности значительно больше, чем линия H. Это произойдет вследствие того, что ультрафиолетовое излучение активной области или поток быстрых частиц, попадая на атомы протуберанцев, создает условия, при которых линия Hε будет чаще излучаться атомами, чем в обычных условиях. Таким образом отношение интенсивности линии Hε и интенсивности линии H может являться новым солнечным индексом, выявляющим активные области Солнца. Это отношение будем обозначать через i. Интересно отметить, что для возбуждения линии Hε нужна энергия того же характера, которая нужна для образования ионосферы. Поэтому можно ожидать, что индекс i и амплитуда суточных колебаний характеристик магнетизма должны быть пропорциональны. В этих случаях значение должно быть осереднено для каждого дня наблюдений и для всех протуберанцев.

Для летних месяцев 1928—1934 гг. индекс i имел следующие значения:

Годы	1928	1929	1930	1931	1933	1934	1935
i	0,25	0,17	0,14	0,13	0,08	0,09	0,14

Сопоставление этих значений индекса i с наблюдениями магнитной обсерватории в Слуцке дает коэфи-

циент корреляции 0,98, т. е. почти однозначную математическую зависимость. Значение нового индекса заключается в том, что он имеет вполне определенный физический смысл. К сожалению, он выявляет только активные области Солнца, лежащие близ края солнечного диска, а не в его середине. Этот индекс доказал со всей очевидностью существование активных областей на Солнце, которые на обычных снимках солнечной поверхности или спектрогелиограммах часто почти ничем не отмечены, ни пятном, ни факелом, ни флоккулом. Приведенные рассуждения не позволяют ответить на вопрос: какой солнечный агент ионизирует земную атмосферу — ультрафиолетовое излучение или потоки материальных частиц? Этот вопрос был решен в пользу ультрафиолетовой радиации во время затмения 31 августа 1932 г. путем изучения распространения радиоволн, о чем более подробно будет сказано ниже.

Распространение радиоволн

Распространение радиоволн на большие расстояния обусловлено существованием электрически проводящего слоя земной атмосферы — ионосферы. Покидая антенны передатчика, радиоволны распространяются двумя путями: непосредственно вдоль земной поверхности и через ионосферу, испытывая в ней сложные процессы преломления, отражения и частичного поглощения. Для волн разной длины, для различных состояний постоянно изменяющейся структуры ионосферы, пути распространения радиоволн различны. Это в сильной степени отражается на слышимости радиосигналов, особенно на далеких расстояниях.

В случае длинных волн (20 000—2 000 *м*) наземный способ их распространения на большие расстояния обусловливается в значительной степени явлением дифракции волн при встрече с неровностями земной поверхности. К сигналам, приходящим к приемнику описанным образом, присоединяются сигналы, пришедшие через ионосферу. Чем больше расстояние между пе-

редатчиком и приемником и чем короче длина волны, тем большую роль играет распространение волн через ионосферу. Волны средней длины (2 000—200 м) на далеких расстояниях в дневное время почти не слышны. Исключительный интерес представляет распространение коротких радиоволн (100—10 м). При благоприятных условиях принимаются сигналы, обошедшие один и даже несколько раз вокруг земного шара. Теоретическое изучение законов распространения этих волн показало, что они отражаются и преломляются в ионосфере до вполне определенного предела длины волны, зависящего от плотности ионов в ионосфере; радиоволны, меньшие по своей предельной длине, выходят за пределы ионосферы. Измерение этой предельной длины волны позволяет определить плотности зарядов ионосферы. Практически поступают следующим образом: устанавливают коротковолновый передатчик и близ него приемник. Через передатчик посылают радиоволны отдельными короткими импульсами. Прием радиосигналов производится на катодный осциллограф, позволяющий регистрировать картину изменения электрических токов за весьма короткий промежуток времени. Одному импульсу передатчика соответствуют две отметки осциллографа: первая отметка соответствует регистрации сигнала, пришедшего непосредственно от передатчика, вторая — тому же сигналу, отраженному ионосферой вниз. Меняя длину волны передатчика и наблюдая исчезновение второго сигнала — эхо, можно определить по предельной волне плотность ионов в стратосфере (число ионов в 1 $см^3$). Измеряя промежуток времени между непосредственно пришедшим сигналом и сигналом, отраженным ионосферой, можно определить кажущуюся высоту последней. Действительно, этот промежуток времени соответствует двойной высоте, деленной на скорость распространения радиоволн, равную скорости света.

Исследования ионосферы, произведенные путем подобного зондирования короткими радиоволнами, установили, что она обладает весьма сложной, непрерывно изменяющейся структурой. Было обнаружено сущ

ствование двух основных слоев ионосферы, получивших название слоев E и F. Слой E обычно расположен на высоте около 100 *км* над земной поверхностью. Второй слой находится днем на высоте около 200 *км*, но с заходом Солнца поднимается на высоту от 300 до 400 *км*. В летний полдень слой E содержит $4 \cdot 10^5$ свободных электронов в 1 *см*³, в зимний полдень — в четыре раза меньше. Ночью это число уменьшается в 20—30 раз. Слой F содержит днем около 10^6 свободных электронов в 1 *см*³. Зимой это число уменьшается в 3 раза; ночью число электронов в 4 или 5 раз меньше, чем днем.

Для объяснения ионизации земной атмосферы, ионизации ее атомов и молекул кислорода и азота, были предложены, как мы указали, два объяснения. Одно видит причину в ультрафиолетовом излучении Солнца, другое — в потоке материальных частиц, идущих также от Солнца.

Для проверки справедливости того или другого объяснения английский ученый Чепмен (S. Chapman) предложил изучать ионосферу методом радиоволн во время солнечного затмения, когда Луна закроет Солнце и ионосфера почти не будет освещена в течение 1—2 час. затмения. Расчет показывает, что в случае подтверждения гипотезы ультрафиолетового излучения Солнца, минимум ионизации ионосферы должен почти точно совпадать с серединой затмения, с тем моментом, когда Луна больше всего закроет солнечный диск. В случае же потока материальных частиц, земной шар вступит в тень Луны, лишенную частиц, примерно на 2 часа раньше середины затмения, что будет отмечено минимумом ионизации ионосферы. Во время затмения 1932 г. в Северной Америке американскими и английскими экспедициями были поставлены необходимые измерения распространения радиоволн. В результате с большой вероятностью было установлено совпадение минимума ионизации ионосферы с наибольшей фазой затмения. Это говорит в пользу гипотезы ультрафиолетового излучения Солнца, как агента, образующего ионосферу. Во время затмения 1932 г. ионизация уменьшилась до 60%. Во время сол-

нечного затмения 19 июня 1936 г. были произведены более подробные исследования ионосферы.

Изложенное показывает, какую огромную роль в образовании ионосферы играет энергия излучения

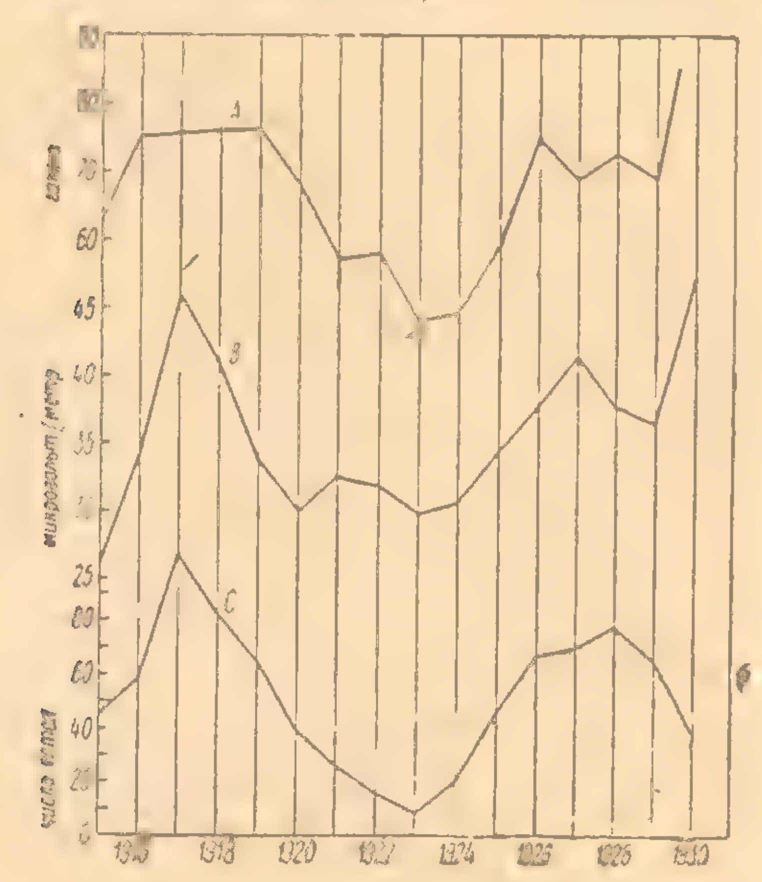


Рис. 114. Изменения горизонтальной составляющей земного магнетизма (кривая A) и слышимость в Америке длинноволновых европейских радиостанций (кривая B) в зависимости от относительного числа солнечных пятен (кривая C).

Солнца, поглощенная земной атмосферой. Поскольку плотность электрических зарядов ионосферы изменяется вместе с солнечной деятельностью, следует ожидать существования зависимости между последней и силой радиоприема. И действительно, еще в 1927 г. Пикард (G. W. Pickard) обнаружил подобную зависимость. На рис. 114 изображены три кривые, иллюстрирующие сказанное. Верхняя кривая дает ход магнитной активности (суточные изменения горизон-

тальной составляющей земного магнитного поля); средняя кривая — силу дневного приема в Северной Америке европейских радиостанций с длиной волны от 10 000 до 20 000 *м*, нижняя кривая представляет относительное число пятен Вольфа. Все три кривые достаточно параллельны одна другой. В эпохи минимума слышимость радиосигналов, как видно на рисунке, падает в 1½ раза.

Как в рассмотренном случае суточных колебаний силы магнитного поля Земли, согласие между силой радиоприема и числом солнечных пятен тем лучше, чем за больший срок осередняем значение обеих сравнительных величин. Для месячных значений согласие заметно хуже, чем для годичных. Интересно отметить, что сила радиоприема несколько лучше согласуется с суточными колебаниями земного магнетизма, чем с числом солнечных пятен. Это вполне понятно, поскольку оба земные явления показывают с двух различных точек зрения изменения, происходящие в ионосфере. Основываясь на своих измерениях, Пикард нашел, что для длин волн широковещательного диапазона в ночное время между силой радиоприема и числом солнечных пятен наблюдается обратная корреляция, т. е. при увеличении числа пятен уменьшается сила радиоприема, и наоборот. Для коротких волн различные исследователи также обнаружили тесную связь между силой радиоприема и солнечной деятельностью. Было найдено, что наивыгоднейшие для связи короткие радиоволны, в период максимума солнечной деятельности, почти на 50% короче, чем при минимуме солнечной деятельности. Анализируя число атмосфериков (тех шорохов и тресков, которые слышны при радиоприеме) в различные годы солнечной деятельности, Аустин (Austin) обнаружил существование тесной обратной связи между этим числом (для длинноволнового диапазона и для дневных часов) и числом солнечных пятен.

Ближайшие годы несомненно приведут к открытию новых соотношений между распространением радиоволн и солнечной деятельностью. В настоящее время в США, а также в ряде других стран в том числе и

в СССР, ведутся систематические определения высоты и плотности ионизации разных слоев ионосферы по указанному методу радиоэхо и предельной волны (частоты).

На рис 115 приведены по Б. Ф. Архангельскому для января — апреля 1933 г.: кривая слышимости лондонской широковещательной станции в бухте Тихой на Земле Франца Иосифа (длина волны 230 *м*), кривая предельной частоты при определении высоты ионосферы в Вашингтоне методом радиоэхо и кривая индексов кальциевых флоккулов. Как видно на рисунке, все три кривые параллельны одна другой. Период ноябрь 1932 г. — май 1933 г. лежащий непосредственно близ минимума солнечной деятельности ознаменовался образованием и периодическим появлением большого солнечного пятна, связанного с активной областью Солнца.

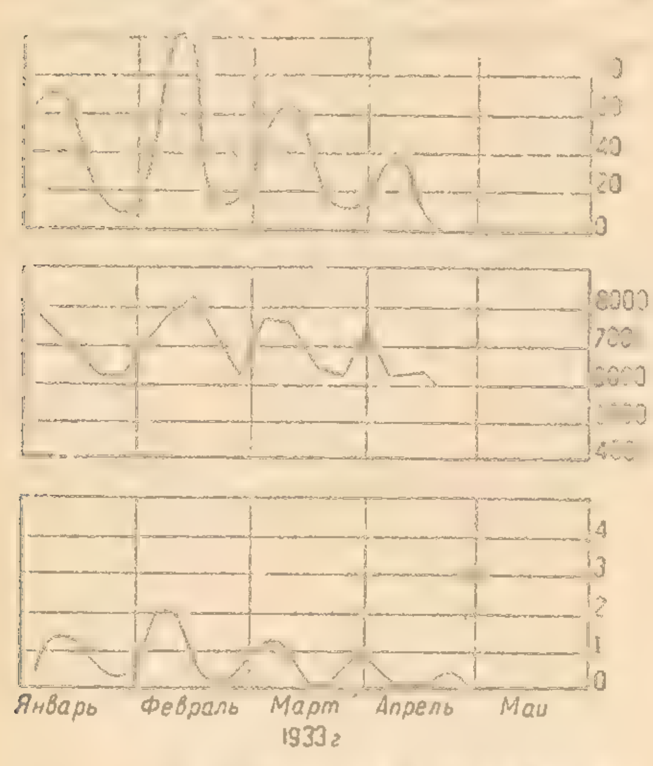


Рис. 115 Изменения [illegible] Лондонской радиостанции (длина волны 230 *м*) и продольной частоты коротких радиоволн в зависимости от солнечной [illegible] (кальциевых флоккулов).

Магнитные бури и полярные сияния

Помимо суточных, а также годичных колебаний характеристик земного магнитного поля, иногда наблюдаются так называемые магнитные бури, при которых происходят резкие колебания всех характеристик магнитного поля. В полярных областях во время сильных магнитных бурь склонение изменяется на несколько градусов, в умеренных широтах эти колеба-

ния меньше и обычно не превосходят 1°. Сильные бури начинаются одновременно на всем земном шаре и продолжаются иногда несколько дней. На рис. 116

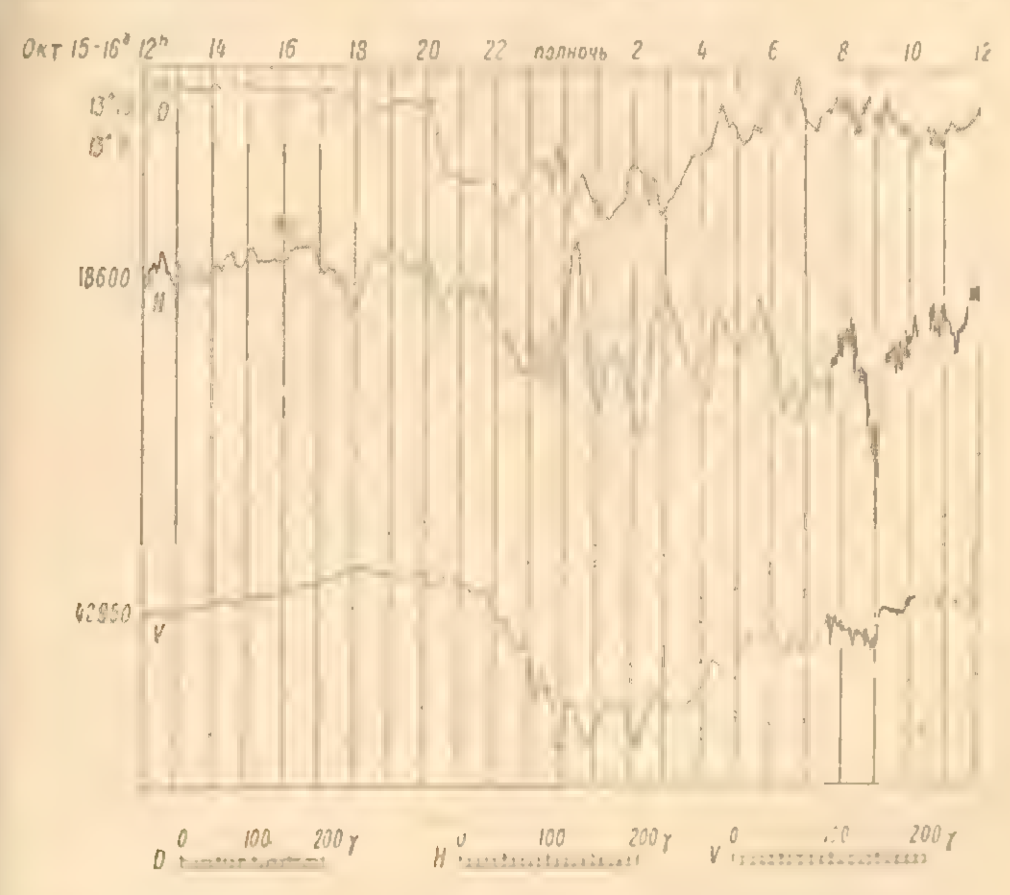


Рис. 116. Запись магнитной бури 14—15 октября 1926 г. приборами Гриничской обсерватории.

D—кривая склонения, *H*—горизонтальной и *V*—вертикальной составляющих магнитного поля Земли.

изображена для примера запись магнитных приборов Гриничской обсерватории во время магнитной бури 14—15 октября 1926 г.

Кривые записи магнитных бурь, полученные на приборах различных обсерваторий, не параллельны между собой. На магнитные возмущения, вызванные Солнцем, накладываются местные возмущения и другие побочные явления, которые усложняют наблюдаемое

Норвежский ученый Биркеланд (Birkeland) и ряд позднейших исследователей изучали записи многих обсерваторий и нашли ряд закономерностей в развитии магнитных бурь. Было обнаружено, что начало бури

носит обычно характер короткого импульса, увеличивающего горизонтальную и, наоборот, уменьшающего вертикальную составляющую земного магнитного поля.

Для детального изучения связи между различными солнечными явлениями и магнитными бурями гриничские астрономы Гривс (Greaves) и Ньютон (H. W. Newton) составили в 1928 г. подробный список 403 магнитных бурь, наблюдавшихся в 1874—1924 гг. в Гриниче, при которых изменения склонения происходили 30′, а горизонтальной или вертикальной составляющей 0,0015 гаусса. Эти ученые обнаружили повторяемость магнитных возмущений через 27 и даже 54 дня после магнитных бурь средней силы. Сильные же бури не дают повторных возмущений. В 1927 г. Кри (Chree) и Стэгг (Stagg) обнаружили 27-дневный период во всех, даже самых слабых «возмущениях» и «затишьях» магнитного поля Земли. Они смогли найти следы возмущенности или затишья даже за 108 дней (27 · 4) до или после максимального значения возмущенности или затишья. Двадцатисемидневный период является средним синодическим периодом вращения Солнца, т. е. средним периодом между двумя прохождениями деталей солнечной поверхности через центральный меридиан.

Гривс и Ньютон изучали распределение солнечных пятен различной площади по солнечному диску во время магнитных бурь. Они распределили магнитные возмущения на 8 групп по их силе. Для начала каждой магнитной бури была вычислена средняя площадь наибольших пятен, расположенных в пределах 20—53 и в пределах 53—79 в обе стороны от центрального меридиана. Результаты исследований представлены в табл. 39; площади пятен в ней даны в миллионных долях полусферы Солнца.

Эта таблица наглядно показывает влияние активных областей Солнца, связанных с большими солнечными пятнами, на возникновение магнитных бурь. Сравнивая приведенные во втором столбце средние площади пятен, находящихся в пределах ±53° от центрального меридиана, со средними площадями пятен, находящихся в краевых частях солнечного диска (в пределах

Таблица 39

Площадь солнечных пятен в центральных и краевых частях солнечного диска во время магнитных бурь разной силы

Изменение магнитного поля во время бури	Площадь пятен вблизи центра диска	Площадь пятен вблизи краев диска
Спокойные дни	244	167
< 0,0012 гаусса	260	181
0,0012 — 0,0015 „	273	159
0,0015 — 0,0018 „	329	220
0,0018 — 0,0021 „	390	302
0,0021 — 0,0030 „	462	189
0,0030 — 0,0050 „	691	251
> 0,0050 „	1 116	181

от 53 до 79), приведенные в третьем столбце, обнаруживаем, что сильные магнитные бури наступают в то время, когда в центральных областях Солнца находится большое пятно; чем пятно больше, тем сильнее в среднем буря. Действительно, из 17 сильнейших магнитных бурь, наблюдавшихся в Гриниче в 1874—1927 гг., 15 бурь начались в то время, когда в области, заключенной в пределах ±53° от центрального меридиана, находились группы пятен, покрывавших более 1/2000 поверхности Солнца и видимых простым глазом. Из двух исключений одна сильная магнитная буря — 13—14 ноября 1894 г. — произошла в период отсутствия сколько-нибудь значительных солнечных пятен. С другой стороны, 16 июня 1905 г. через центральный меридиан проходило пятно с площадью свыше 1/500 поверхности Солнца, не вызвав магнитных возмущений. Подобных случаев можно было бы привести много Это показывает, что сами солнечные пятна не являются причиной, вызывающей магнитные бури. Тем не менее во многих случаях они являются хорошими показате-

лями активных областей Солнца вызывающих магнитные возмущения.

В результате накопления наблюдательного материала, полученного с помощью спектрогелиографа и спектрогелиоскопа, было обнаружено, что многие извержения ярких водородных флоккулов вызывают примерно через один день магнитные возмущения. Приведенный рис. 113 показывает извержение водородных флоккулов 13 октября 1926 г., а рис 116 — запись вызванной им магнитной бури. В табл. 40 приведены 5 наиболее достоверных случаев существования связи между сильным извержением водородных флоккулов и магнитными бурями.

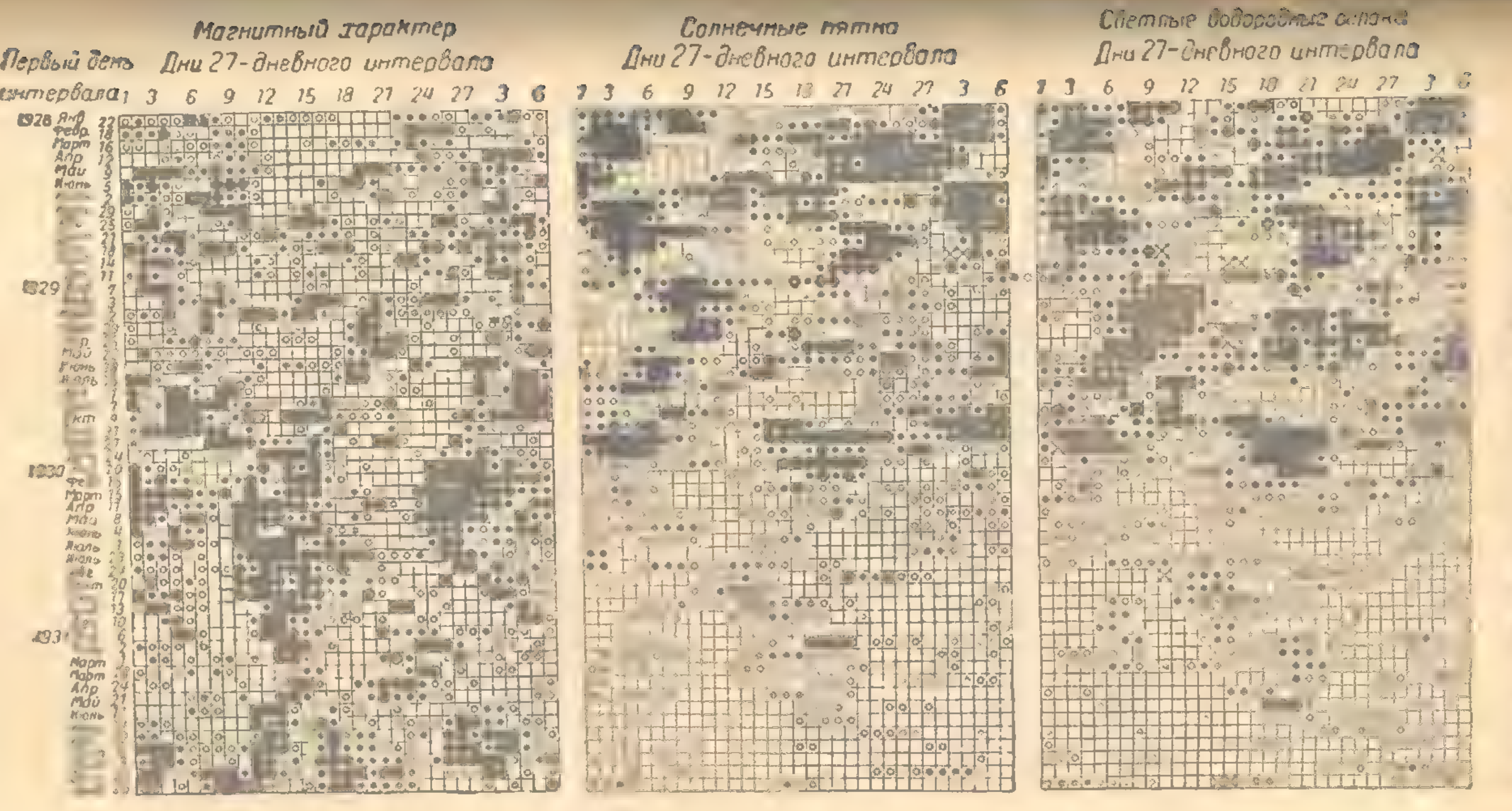
Таблица 40

Список солнечных извержений, вызывавших сильные магнитные бури

Даты и гринвичское время максимума извержения	Время между извержением на Солнце и	
	началом магнитной бури	максимумом бури
1892, 15 июля 5ч. 72	21ч,3	25ч,3
1908, 10 сентября 8, 0	26ч,0	43ч,0
1909, 24 сентября 10, 6	26ч,6	30ч,0
192?, 22 февраля 14, 5	23ч,5	50ч,5
1926, 13 октября 13, 2	31ч,0	56ч,0
В среднем	25,6	41,0

Основываясь на этой таблице, устанавливаем скорость передачи возмущения с поверхности Солнца на Землю в 1 600 *км/сек* и 1 000 *км/сек* соответственно приведенным средним значениям.

Многие ученые в настоящее время думают, что между магнитными бурями и извержениями водородных флоккулов должна существовать тесная связь. Они думают, что извержения флоккулов не предста-



Обозначения 0 · ○, 1 · ▢, 2 · ▣, 3 · ▣, 4 · ▣, 5 · ■

Рис. 117. Отображение периода обращения Солнца в значениях магнитной активности Земли (слева), в относительных числах солнечных пятен (в середине) и в интенсивности светлых водородных облаков в центральной части солнечного диска (справа).

Шкала: 0—спокойно, 5—сильно возмущено, или много пятен или облаков. В правой части некоторые дни без наблюдений помечены крестом.

вляются редким явлением, но, продолжаясь короткое время, эти извержения остаются неотмеченными наблюдателями.

К другим выводам приходит германский геофизик Бартельс (Bartels) на основе своих 27-дневных диаграмм магнитной и солнечной активностей. Эти диаграммы состоят из ряда квадратиков, каждый из которых соответствует определенной дате. Каждая строка квадратиков соответствует 27-дневному периоду, т. е. обороту Солнца. На каждом квадратике особо обозначают магнитную возмущенность или солнечную активность для соответствующей даты. На рис. 117 изображены диаграммы Бартельса для 1928—1931 гг. для магнитной возмущенности флоккулов. Слева обозначены даты первого дня каждого 27-дневного оборота Солнца, сверху даны дни 27-дневного периода.

Сравнивая эти диаграммы между собой, мы обнаруживаем почти одинаковую картину для чисел пятен Вольфа и ярких водородных флоккулов. Несколько неожиданным является отсутствие сходства между диаграммами магнитной возмущенности и солнечных явлений. Двадцатисемидневный период выпукло вырисовывается на этих диаграммах. Изучение диаграмм за большой промежуток времени позволило Бартельсу установить, что активные области на Солнце, вызывающие возмущения земного магнитного поля, часто не совпадают с областями, представленными пятнами и флоккулами, и что магнитно-активные области на Солнце существуют в течение сравнительно большого промежутка времени, доходящего до одного года, не будучи обнаруживаемы астрономическими наблюдениями.

Магнитные бури обычно сопровождаются полярными сияниями, интенсивными в полярных областях земного шара. Некоторые полярные сияния большой яркости бывают видны в умеренных широтах и даже под тропиками. Как и магнитные бури, они обнаруживают в частоте своей повторяемости 11-летний период, а также, согласно Свердрупу (Sverdrup), и 27-дневный период.

Между слышимостью радиосигналов и магнитными бурями также была обнаружена тесная связь. Установлено, что во время сильных бурь прекращается связь на коротких волнах почти на всем земном шаре, в особенности его частях, освещенных Солнцем.

Германский ученый Мегель (Mogel) находит, что в 93% случаев увеличение магнитной активности сопровождается ослаблением коротковолновых сигналов. В случае длинных волн, наоборот, во время магнитных бурь наблюдается увеличение слышимости радиосигналов на 30—75%. Все современные теории магнитных бурь исходят из того обстоятельства, что в верхних частях земной атмосферы появляются потоки электрических материальных частиц, дающих магнитные возмущения и заставляющих земную атмосферу светиться при столкновении с ее частицами, образуя причудливые формы полярных сияний. Таким образом не представляется возможным отделить теорию полярных сияний от теории магнитных бурь.

Самой старой теорией указанных явлений является теория Биркеланда, обоснованная им в 1896 г. в его лабораторных опытах с движением потока электронов около намагниченного шара. Норвежский ученый Штермер (Stormer) в ряде глубоких исследований, из которых первое было опубликовано еще в 1903 г., развил и математически обосновал теорию Биркеланда. Теория Биркеланда-Штермера исходит из предположения, согласно которому Солнце испускает узкие потоки электронов со скоростями порядка 100 000 *км/сек*. Как показывают математические исследования Штермера и опыты Брюхе (Bruche), поток электронов при приближении к земному шару, попадая в его магнитное поле, разделяется на несколько частей, направляющихся частично в полярные области и образующих, кроме того, экваториальное кольцо. Часть электронов, двигаясь в полярных областях спирально вокруг магнитных силовых линий, попадает в верхние части земной атмосферы, не освещенные Солнцем, образуя полярные сияния на высоте 80—100 *км*.

Теория Биркеланда-Штермера предполагает, что поток электронов движется с громадными скоростями

и обладает значительной плотностью, что вызывает серьезные возражения. Нельзя представить себе подобный поток существующим долгое время: одинаковый заряд электронов заставит поток вследствие электростатического отталкивания вскоре же рассеяться. Кроме того, в случае справедливости этой теории верхние слои атмосферы должны были бы со временем накопить огромный электростатический заряд, который препятствовал бы проникновению новых зарядов.

В 1930 г. Чепмэн и Ферраро (Ferraro) предложили новую теорию магнитных бурь, которая так же, как и ранее рассмотренная теория, исходит из предположения об излучении Солнцем материальных потоков. Но, в отличие от прежней, новая теория предполагает существование нейтрального потока, состоящего из равного числа ионов и электронов, а также нейтральных атомов, и движущегося со скоростью около 1 600 *км/сек*. Благодаря вращению Солнца этот поток будет двигаться по спиральным линиям. Фронт потока будет настигать земной шар со скоростью около 400 *км/сек*. При приближении к нему поток, являющийся прекрасным электрическим проводником, будет испытывать воздействие магнитного земного поля. Последнее будет препятствовать потоку приблизиться на близкое расстояние к Земле. С течением времени он начнет окружать земной шар, образуя замкнутое кольцо. Подсчет показывает, что поток, состоящий из ионов и электронов, а также и из нейтральных частиц, даст большие возмущения земного магнитного поля, по характеру приближающихся к наблюдаемым. Разработка теории пока еще полностью не закончена. Поэтому сейчас еще рано говорить о преодолении ею ряда трудностей, встречающихся на ее пути.

Интересная теория для объяснения полярных сияний и магнитных бурь была предложена в 1928 г. американскими учеными Холбортом (Hulburt) и Марисом (Maris). Они предполагают, что причиной магнитных бурь являются образования на солнечной поверхности небольших областей, богатых ультрафиолетовым излучением с длиной волны меньше 0,1 μ.

Как мы знаем, солнечная поверхность обладает температурой в 6 000 . Если $^1/_{10\,000}$ ее часть увеличит свою температуру до 3 000 , то «солнечная постоянная» изменится всего на 1%, между тем как ультрафиолетовое излучение Солнца в области 0,05—0,10 μ спектра увеличится в 100 000 раз. Холборт и Марис не предполагают увеличения температуры отдельных участков солнечной поверхности до 30 000°; они думают, что эти участки обладают большими аномалиями в далекой ультрафиолетовой части спектра, где, по их мнению, появляются яркие спектральные линии и полосы.

Большое возрастание ультрафиолетового излучения Солнца, согласно их теории, сильно ионизирует высшие слои земной атмосферы. Поглощенная световая энергия переходит в результате ряда процессов в кинетическую энергию движения частиц земной атмосферы. Последние выбрасываются на высоту 30 000—50 000 *км*, ионизируются солнечными лучами и падают вниз, двигаясь в полярных областях по спиральным линиям в земном магнитном поле. Это движение ионов и электронов создает магнитные возмущения и полярные сияния при проникновении ионов и электронов в более низкие части земной атмосферы. Девять часов необходимо для того, чтобы частицы земной атмосферы, оторванные в экваториальной области, проникли в полярные области. Теория Холборта и Мариса не получила до сих пор большого распространения. Несмотря на ряд недостатков, она несомненно заслуживает большего внимания, чем ей уделялось до сих пор.

Холборт и Марис из своей теории делают тот вывод, что зодиакальный свет обладает земным происхождением. Они считают последний образованием, подобным кометным хвостам, созданным действием солнечных лучей на земную атмосферу. Это образование должно быть направленным от Солнца вследствие эффекта светового давления лучей последнего на оторванные частицы земной атмосферы. Зодиакальный свет, как и кометные хвосты в эпохе «солнечных вспышек», характеризуемый для земного наблюдателя магнитными

бурями и полярными сияниями, должен становиться ярче. В подтверждение своих выводов они приводят ряд наблюдений.

Влияние солнечной деятельности на гидрометеорологические явления

Вопрос о влиянии солнечной деятельности на гидрометеорологические явления имеет почти столетнюю давность, однако до сих пор он не получил своего разрешения. Это объясняется необычайной сложностью во многих случаях еще не изученных гидрометеорологических явлений. Действительно, та или иная погода в какой-либо области земного шара, характеризуемая температурой, атмосферным давлением, влажностью, облачностью, ветром и другими элементами, является результатом перемешивания различных воздушных масс, пришедших иногда издалека; к тому же местные условия: рельеф местности, наличие водных бассейнов и др. накладывают свои отпечатки. Поэтому сколько-нибудь определенных результатов изучения влияния солнечной деятельности на гидрометеорологические явления можно ожидать только для элементов, осредненных для больших областей земной поверхности.

Впервые 11-летний период в температуре воздуха нашел в 1914 г. Кеппен. Он показал, что колебания средней годичной температуры в тропиках в 1813—1910 гг. содержат 11-летний период. Оказалось, что для эпохи минимума солнечной пятнообразовательной деятельности температура на 0°,6 выше, чем для эпохи максимума. В умеренных широтах этот период в колебаниях годичных температур представлен менее определенно.

Большие исследования произвел американский ученый Клэйтон, изучавший влияние колебаний солнечной постоянной на различные метеорологические характеристики в разных областях земного шара. В отдельных случаях он получил коэфициент корреляции между обоими явлениями до 0 7. На основе своих исследований он давал прогноз (предсказание) погоды в Вашинг-

тоне. Следует отметить, что результаты этих исследований получают подержку только среди сравнительно узкого круга ученых. Весьма интересное и убедительное исследование произвел Брукс (Brooks), сопоставивший средний уровень большого озера Викто-

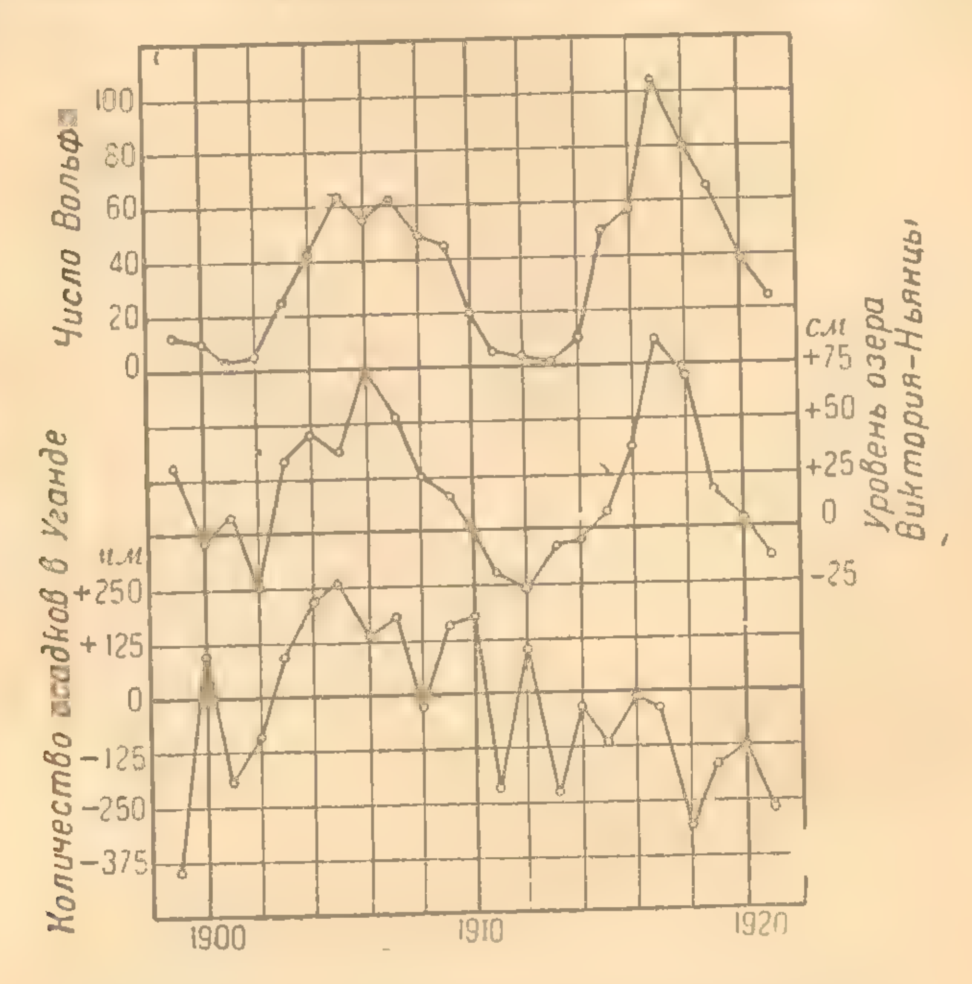


Рис. 118. Зависимость между уровнем озера Виктория-Ньянца, числом солнечных пятен и количеством осадков в Уганде.

рия-Ньянца площадью в 68 000 $км^2$ в Центральной Африке с числом солнечных пятен. Для 1902—1921 гг. он получил высокий коэфициент корреляции, равный 0,87. На рис. 118 показаны кривые относительного числа солнечных пятен уровня оз. Виктория-Ньянца в сантиметрах и осадков, выпавших в Уганде (области, прилегающей к оз. Виктория-Ньянца), в миллиметрах.

Первые две кривые идут между собой параллельно. Разности уровней озера в эпохи максимума и мини-

мума солнечной деятельности достигают 1 *м*. Между колебаниями уровня озера и осадками в Уганде наблюдается плохое согласие, но это объясняется местным характером области Уганда. Действительно, когда Филиппс (Philipps) сравнил годичные значения осадков для всего района оз. Виктория-Ньянца с колебаниями уровня последнего, он обнаружил хорошее согласие (коэфициент корреляции 0,9).

В СССР была обнаружена связь между колебаниями уровня Ладожского озера и солнечной деятельностью.

К весьма интересным результатам пришел американский ученый Дуглас (Douglass), изучавший поперечные срезы деревьев. На этих срезах отчетливо выступают концентрические кольца годичного вегетационного периода. Дуглас обнаружил, что во время эпох интенсивной солнечной деятельности эти кольца значительно шире, чем в эпохи слабой деятельности. На рис. 119 показан поперечный срез ели, упавшей близ Берлина. Стрелками отмечены более широкие кольца, соответствующие годам максимумов солнечной деятельности.

Изучая срезы многих калифорнийских гигантских деревьев — секвой (Sequoia gigantea), достигающих высоты до 100 *м* при толщине до 16 *м* у основания и возрастом до 3 500 лет, Дуглас смог проследить 11-летний период почти за 1 000 лет до начала нашей эры.

В СССР влиянием солнечной деятельности и на гидрометеорологические явления занимаются Е. Е. Слуцкий в Москве, М. С. Жуков в Ташкенте и другие. Эти ученые пришли к ряду интересных выводов.

Литература по изучению влияния Солнца на различные земные явления крайне обширна, но во многих случаях весьма разноречива. Еще много лет пройдет, пока исследователи придут к правильному пониманию механизма влияния Солнца на Землю.

Посмотрим теперь, каким же образом солнечная деятельность может влиять на гидрометеорологические явления.

Так как колебания солнечной постоянной весьма малы и не превосходят 1%, мысль о возможности

сколько-нибудь заметного влияния изменении тепловой энергии Солнца на земные явления следует оставить. На гидрометеорологические явления могут оказывать влияние потоки ионизированных материальных частиц, исходящие от Солнца, крайнее ультрафиолетовое излучение Солнца, ионизирующее атмосферу.



Рис. 119. Поперечный срез ели, упавшей близ Берлина.

Ионы солнечного происхождения или ионы, образованные ультрафиолетовым излучением Солнца, проникая из верхних слоев земной атмосферы в нижние, могут вызвать конденсацию водяных паров в виде облаков. Последние, закрывая от прямых солнечных лучей земную поверхность, вызывают сложные конвекционные потоки и перемещения воздушных масс. В полярных областях земного шара число ионов, проникающих из верхних частей атмосферы в нижние,

должно быть особенно велико и, следовательно, эти области будут больше всего подвергаться влиянию изменения солнечной деятельности.

Настоящее предположение является гипотезой, но, в случае его справедливости, мы сможем проследить влияние солнечной деятельности прежде всего на облачности, осадках и грозовой деятельности.



ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕ

Приложение

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ О СОЛНЦЕ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

С. А. Шорыгин

В настоящий указатель включены все известные автору книги и брошюры о Солнце, вышедшие с 1917 по 1/VIII 1936 г., незначительная часть книг, вышедших ранее и до настоящего времени не потерявших своего значения, и статьи о Солнце, напечатанные в специальных астрономических периодических изданиях и в научных журналах за все время их существования. За недостатком места заметки о Солнце и наблюдения его, напечатанные в тех же журналах и в астрономических бюллетенях, в обзор не включены. Литература, вышедшая после 6/VI 1936 г., включена в третий, дополнительный раздел указателя.

При составлении указателя использованы полные серии следующих изданий, сокращенные обозначения которых указаны в скобках: «Известия Русского астрономического о-ва» (Изв. РАО) за 1892—1928 гг. (выпуски 1—26 и 33), «Известия Русского о-ва любителей мироведения» (Изв. РОЛМ) за 1912—1917 гг. (томы 1—7), «Мироведение» за 1918—1936 гг. (до № 4) (томы 8—25), «Русский астрономический календарь» (РАК) на 1895—1936 гг. (выпуски 1—39) *, «Астрономический журнал» (АЖ) за 1924—1936 гг. (до № 4) (томы 1—13), «Бюллетень Комиссии по исследованию Солнца Академии наук СССР» (Бюлл. КИСО) за 1932—1936 гг. (№ 1—14), «Успехи астрономических наук» (УАН) за 1932—1935 гг. (выпуски 1—5), «Природа» за 1912—1936 гг. (до № 4) (томы 1—25), «Научное слово» за 1928—1931 гг., «Социалистическая реконструкция и наука» (СОРЕНА) за 1931—1936 гг. (до № 3) и «Наука и жизнь» за 1934—1936 гг. (до № 7).

1. Книги-брошюры

1. *Баев К. Л., проф.*, Почему светит и греет солнышко и что на нем делается? 62 стр., 9 рис., Библиотека рабоче-крестьянской молодежи «Тайны природы», изд-во «Новая Москва», 1926, ц. 25 коп.

* Кроме статей о Солнце, перечисленных в указателе, в Календаре ежегодно печатаются обзоры успехов астрономии, в которых также содержатся сведения об исследованиях Солнца.

Общедоступная брошюра, в которой сообщаются начальные сведения о Солнце, доступные пониманию широких кругов неподготовленных читателей.

2. *Баев К. Л., проф.*, Солнечные затмения, 2-е изд., исправл. и дополн., 6[illegible] стр., 1[illegible] рис., 1 карта, ОГИЗ-ГАИЗ, М., 1936, ц. 55 коп.

Общедоступно написанная брошюра, содержащая довольно полную сводку сведений о явлении солнечных затмений.

3. *Баев К. Л., проф.*, Солнце и его пламя, 93 стр., 10 рис., изд-во «Молодая гвардия», М., 1923, ц. 35 коп.

Увлекательно написанный популярный очерк о Солнце и о происходящих на нем явлениях.

4. *Баев К. Л., проф. и Шишаков В. А.*, О солнечном затмении 19 июня 1936 года, под редакцией проф. А. А. Михайлова, 44 стр., 2[illegible] рис., серия «Научные беседы выходного дня», ОНТИ, Главная редакция научно-популярной и юношеской литературы, М.-Л., 1936, ц. 45 коп.

Брошюра дает основной круг сведений о Солнце, Луне и о лунных и солнечных затмениях.

5. *Барабашев Н. П.*, Солнце, 2-е изд., 89 стр., 16 рис., Б-ка естествознания, серия «Мироведение», «Червоний шлях», 1925, ц. 50 коп.

Популярная брошюра, предназначенная для неподготовленных читателей.

6. *[illegible] Ф. Ю.*, Температура и излучение солнца, 96 стр., 4 черт., Пг., 1917.

Монография, в которой автор излагает результаты определения коэффициентов прохождения лучей через земную атмосферу, полученные различными методами, в том числе и с помощью светофильтров (работа автора).

7. *[illegible] И. Я., Всехсвятский С. К., Казанский И. А., Калитин Н. Н., Михайлов А. А., Фесенков В. Г.*, при участии *Блажко С. Н. и Паренаго П. П.*, под общей редакцией *Михайлова А. А.*, Полное солнечное затмение 19 июня 1936 года и его наблюдение. Для любителей астрономии и геофизики и учащихся высшей ступени, 1[illegible] стр., 17 рис., 2 карты (Всесоюзное астрономо-геодезическое о-во), ОНТИ, Главная редакция научно-популярной и юношеской литературы, М.-Л., 1936, ц. 1 руб.

Книга предназначена для лиц, хорошо знакомых с основными понятиями астрономии и физики и могущих принять активное участие в наблюдениях затмения.

8. *Вавилов С. И., акад.*, Глаз и Солнце, О свете, Солнце и зрении, 6[illegible] стр., [illegible] рис., 2-е изд., дополн., Гос. технико-теоретич. изд-во, М.-Л., 1932, ц. 2 руб.

Популярный очерк, посвященный выяснению приспособленности глаза к рассеянному свету Солнца по данным физики, астрономии, анатомии и физиологии.

9. *Вавилов С. И.*, Солнечный свет и жизнь Земли, 104 стр., 17 рис., Библиотека рабочей молодежи под общ. ред. МК РЛКСМ, серия «Наука и техника» под ред. Т. К. Молодого, изд-во «Новая Москва», 1924, ц. 35 коп.

Популярная брошюра, в которой выясняется роль солнечного

света для органической жизни на земле. Первая половина книги посвящена преимущественно вопросам оптики.

10 *Васнецов М.*, Солнечное затмение 8 августа 1914 года, 44 стр., 14 рис., 1 карта (Московского о-ва любителей астрономии), изд. т-ва И. Д. Сытина, М., 1914, ц. 35 коп.

Обстоятельная популярная брошюра, сообщающая краткие сведения о явлениях, наблюдаемых на Солнце, о солнечных затмениях и о визуальных и спектральных наблюдениях солнечных затмений.

11. *Вейнберг Б. П.*, Желтый уголь (мощность лучистой энергии солнца), IV + 64 стр., 15 рис., 2 карты (Комиссия по изучению естественных производительных сил Союза, Материалы, № 75), изд-во Академии наук СССР, Л., 1929.

Монография, в которой автор дает обзор осуществленных солнечных тепловых установок и силовых станций, намечает пути к повышению их коэффициента полезного действия и рассматривает вопрос о способах учета солнечной мощности.

12. *Вейнберг Б. П.*, проф., Солнце — источник механической и тепловой энергии, 59 стр., 25 рис., серия «Наука — массам», популярная библиотека по физике, ОНТИ-ГТТИ, М.-Л., 1934, ц. 60 коп.

Автор, не ограничиваясь описанием солнечных двигателей различных конструкций, уделяет внимание и вопросу об экономической выгодности их. Первое издание этой брошюры называлось «Солнце-двигатель и Солнце-теплота».

13. *Вильев М.*, Таблицы для вычисления элементов солнечных затмений, IV + 24 стр., изд. Русского о-ва любителей мироведения. Пг., 1917, ц. 50 коп.

Таблицы предназначены для продолжения канона затмений Оппольцера дальше 1200 г. по н. э.

14. *Всехсвятский С. К.*, Солнечное затмение 19 июня 1936 г. и школьные наблюдения, 80 стр., 46 рис., 2 карты, ОГИЗ, Учпедгиз, М., 1936, ц. 75 коп.

Книга содержит описания замечательных солнечных затмений далекого прошлого и XVI—XIX вв., справочные сведения о затмении 19 июня 1936 г., краткую сводку наших знаний о Солнце и указания к наблюдениям.

15. *Ганский А. П.*, О наблюдениях Солнца и об основании Гелиофизической обсерватории на юге России, 15 стр., изд. Академии наук, (1905).

Автор дал сжатую сводку работ по физике Солнца и наметил задачи дальнейших исследований в этой области.

16. *Герасимович Б. П.*, проф., Физика Солнца, 2-е изд., перераб. и дополн., 180 стр., 17 рис., ОНТИ, Гос. научно-технич. изд-во Украины, Харьков, 1935, ц. 3 р. 80 к., переплет 40 коп.

Наиболее современная книга о Солнце, имеющаяся в настоящее время на русском языке. Рассчитана на читателей, владеющих высшей математикой.

17. *Горяинов Г. Г.* (редактор), Затмения 1927 и их наблюдения, 47 стр., 1 диаграмма, изд. Нижегородского кружка любителей физики и астрономии. Нижний-Новгород, 1927, ц. 80 коп.

Брошюра содержит справочные сведения о затмениях 19[illegible]7 г и две инструкции для любительских наблюдений частных солнечных и лунных затмений (В В Ш[illegible] и С М С[illegible])

18 *Зл[illegible]тинский В[illegible]димир*, Солнце, его природа и физическое строение, инстр[illegible]ция [illegible] н[illegible]д[illegible] с[illegible] [illegible]. VI + 132 стр., 59 рис., Митава, 1911, ц. 65 коп.

Автор — астроном-лю[illegible], [illegible] производивший наблюдения Солнца, в сжатой и общедоступной форме излагает главнейшие данные о природе Солнца и о явлениях, происходящих в атмосфере и короне Солнца.

19 *Иванов А А*, Инструкция для наблюдения полного солнечного затмения [illegible]21 [illegible] 1914 г, 18 стр, 7 рис., 1 карта, Пб., 1914.

Предназначена для любителей астрономии.

20 *Иванов А А* (редактор), Труды экспедиций, снаряженных Русским астрономическим обществом для наблюдения полного солнечного затмения [illegible] июля (9 августа) 1[illegible]96 года, VI + XXIV + 125 стр с рис и фототипиями [illegible] РАО П[illegible], 1912 ц на 3 [illegible]

П[illegible]екрасно изданный том трудов [illegible] к верховьям реки Мvонно и в селение Ч[illegible] на [illegible] и Лены Книга содержит [illegible] репродукции фотографий короны

21 *Ив[illegible]нов Н И*, Наблюдения Солнца. [illegible]0 стр, 47 рис Рабочая школьная [illegible] под общ ред М. Е. Набокова, № 2, ГИЗ, М.-Л., 1928. ц. 50 коп.

Задача автора — обратить внимание учащегося (и учащего) на те наблюдения Солнца и связанных с ним явлений, которые возможны с небольшими инструментами. Описанию этих инструментов, методов наблюдения и способам получения результатов уделено много места.

22 *Каблуков И. А, проф*, О том, [illegible] узнали состав солнца, 31 стр., 9 рис., изд. т-ва И. Д. Сытина. М., 1903.

Популярная лекция, прочитанная для учащихся.

[illegible] *Калитин Н Н, проф*, [illegible] с[illegible] т[illegible] радиации, IV + 13[illegible] стр., с рис., изд. Научно-м[illegible]рационного института. Пг., 1923.

Монография, в которой автор излагает методы и результаты подсчета сумм тепла солнечной радиации. В приложении опубликованы суточные суммы тепла солнечной радиации для Па[illegible]вска за 1913—1919 гг.

24 *Калитин Н Н, Тихов Г А, Сикора И И, Гальперин С. С, Селиванов С. М, Святский Д. О* и *Субботина Н. М*, Руководство к любительским наблюдениям во время полного солнечного затмения 8(21) августа 1914 г, видимого в Европейской России, изд. РОЛМ, Пб., 1914, ц. 35 коп.

Брошюра состоит из статей, перечисленных в настоящем указателе за № 100, 169, 271, 273, 277, 285, 297.

25 *Каменьщиков Н. П.*, Солнце, Астрономический очерк, 32 + 1 стр, [illegible]0 рис, 4 т[illegible]б[illegible] в к[illegible]х, серия «Знание для всех», изд. П. П. Сойкина, Пг., 1915, ц. 50 коп.

Бог[illegible] [illegible] брошюра, [illegible] сведений о Солнце.

26. *Каменьщиков Н. П., проф.*, Солнце красное, Астрономический очерк, 97 стр., 50 рис., изд-во «Книга», Л.-М., 1925, ц. 65 коп.

Переработанное издание предыдущей брошюры без многокрасочных иллюстраций.

27. *Клейн Г.*, Солнце, Популярно-научный очерк, пер. И. А. Давыдова, 2-е изд., 47 стр., 3 рис., Народная библиотека, «Кооперативное изд-во», Пг.-М., 1919.

Перепечатка главы из книги Г. Клейна «Астрономические вечера».

28. *Кравцов П. И.*, Солнце и жизнь, 64 стр., с рис., изд-во «Научная мысль», ц. 80 коп.

В первой части этой популярной брошюры дается краткая сводка наших знаний о Солнце, а во второй рассматривается влияние лучистой энергии Солнца на биологические процессы.

29. *Красковский С. А.*, Солнце, Популярная монография, 92 стр., 33 рис., «Ступени знания» — серия природоведения под ред. С. Стрельбицкого, изд-во «Пролетарий», 1925, ц. 80 коп.

Брошюра по построению и по содержанию сильно напоминает брошюру Н. П. Каменьщикова (см. № 25).

30. *Крашенинников Ф. Н.*, Солнце — источник жизни, 31 стр., 3 рис., серия IX «На пути к материализму», вып. № 12 (Гос. Тимирязевский научно-исслед. институт), «Северный печатник», Вологда, 1926, ц. 35 коп.

Популярная брошюра, в которой рассматривается влияние солнечного света на биологические процессы.

31. *Лесная Л.*, Затмение луны и солнца, 30 стр., с рис., ГИЗ, М.-Л., 1926, ц. 15 коп.

Брошюра, предназначенная для совершенно неподготовленных читателей. Изложение ведется в форме рассказа.

32. *Львов В. Н.*, Как узнали состав Солнца, (2-е изд.), 40 стр., 11 рис., серия «Наука — массам», популярная библиотека по астрономии под ред. проф. К. Ф. Огородникова, ОНТИ—ГТТИ, М.-Л., 1934, ц. 40 коп.

33. *Львов В. Н.*, Что такое Солнце, 47 стр., 12 рис., серия «Наука трудящимся», ГИЗ, М.-Л., 1930, ц. 15 коп.

Две общедоступных брошюры, дополняющих одна другую, предназначенных для совершенно неподготовленных читателей.

34. *Михайлов А. А.*, О солнечных затмениях, 16 стр., 8 черт. (Московское о-во любителей астрономии), ГИЗ, М., 1921, ц. 25 коп.

Брошюра, изданная перед частным солнечным затмением 1921 г., рассчитанная на широкий круг читателей.

35. *Михайлов А.*, Затмения Солнца и Луны в 1921 г., 8 стр., с черт. и 2 картами, Гос. вычислительный институт, Московское отд., вып. III, 1920.

36. *(Михайлов А. А.)*, Полное затмение солнца 8/21 августа 1914 года в Европейской России, 21 стр., с рис. и 2 картами, изд. МОЛА, М., 1913, ц. 1 р. 20 к.

37. *Михайлов А. А., проф.*, Полное солнечное затмение 19 июня 1936 г. в СССР, 35 стр., с черт. и 2 картами в красках (Гос. астро-

номический институт им. П. К. Штернберга), ОНТИ, Главная редакция общетехнической литературы и номографии, М.-Л. 1935, ц. 14 руб.

Последние три брошюры представляют собою полные предвычисления затмений, предназначенные для специалистов — участников экспедиций по наблюдению затмений.

38. *Михайлов, А. А., проф.*, Теория солнечных затмений VIII + 136 стр., 4 черт., серия «Научные монографии», ГИЗ, М., 1925, ц. 4 руб.

Цель автора состояла в том, чтобы вывести такие формулы которые, будучи достаточно, но не излишне точными, дали бы возможность с наименьшей затратой труда произвести полное и всестороннее предвычисление затмения.

39. *Михельсон В. А.*, 35 лет актинометрических исследований, Краткий обзор, 26 стр. (Постоянная актинометрическая комиссия ГГО), М., 1928, ц. 25 коп.

Посмертное издание обзора, составленного автором.

40. *Морозов Георгий*, О солнечном спектре и спектральных наблюдениях, VIII + 227 стр., 7 таблиц рисунков, Харьков, 1861.

Популярная монография, излагающая учение о преломлении света в призмах и содержащая очерк развития знаний о солнечном спектре от Фраунгофера до Кирхгофа, а также результаты позднейших спектральных наблюдений.

41. *Морэ Т.*, Солнце, С предисловием Камилла Фламмариона и с прибавлением (в русском издании) статистики солнечных пятен за все время наблюдений их, перевод с французского В. Л. Р—ова, X + 254 стр., изд. ред. «Нового журнала иностранной литературы» (Ф. И. Булгакова), Пб., 1904.

Книга содержит обильный фактический материал о наблюдениях солнечных пятен в XIX в. В остальном сильно устарела.

42. *Орлов С. В., проф.*, Солнечные и лунные затмения, Многокрасочная настенная таблица с приложением брошюры «Методическое пособие для преподавателя», 24 стр., 12 рис., Гос. учебно-педагогич. изд-во, 1934, ц. 2 руб.

Таблица содержит 12 многокрасочных рисунков и схем и карту полосы полного солнечного затмения 19 июня 1936 г.

43. Отчеты членов экспедиции, организованной Московским о-вом любителей астрономии для наблюдения полного солнечного затмения 8/21 августа 1914 г., 46 стр., с рис. и 1 фототипией, изд. МОЛА, 1916.

Брошюра состоит из статей М. Е. Набокова, Б. В. Недзвецкого и Г. В. Потапенко, наблюдавших затмение в Полтавской губернии.

44. *Полак И. Ф., проф.*, Солнце, 2-е изд., [illegible] стр., 19 рис., серия «Наука — массам», популярная библиотека по астрономии под общей ред. К. Ф. Огородникова, ОНТИ, Главная редакция общетехнической литературы и номографии, М.-Л. 1935, ц. 1 р. 25 к.

Наиболее современная популярная книжка о Солнце, содержащая краткую сводку наших знаний о нем.

45. *Стратонов В. В.*, Солнце, Астрономическая популярная монография, VIII + 247 стр., с рис. и таб., изд. автора, 1910.

Роскошно изданная книга, написанная весьма популярно. Особую ценность представляют многочисленные иллюстрации, часть из которых выполнена в красках.

46. *Тер-Оганесов В. Т.*, О затмениях Солнца, 32 стр., 6 рис., 1 карта, ОГИЗ—ГАИЗ, М., 1936, ц. 25 коп.

В брошюре объясняются причины солнечных и лунных затмений и сообщаются важнейшие сведения о природе Солнца.

47. *Тимирязев К.*, Солнце, жизнь и хлорофилл, Сборник исследований, речей и лекций, 1868—1920, 324 стр. с рис., ГИЗ, М.-Л., 1923, (готовится новое издание).

Посмертное издание составленного автором сборника, включающего 4 публичные лекции, 4 речи и 20 исследований, многие из которых являются классическими.

48. Труды экспедиции для наблюдения солнечного затмения 7 апреля 1921 г. на Мурманском побережьи, 96 стр., с рис. (Астрономическая комиссия МОНО), изд-во «Новая Москва», 1926, ц. 2 р. 50 к.

Книга состоит из статей А. К. Беляева, С. Л. Бастамова и В. Ф. Бойковского, А. Н. Волохова, И. А. Казанского и А. А. Михайлова, наблюдавших затмение на Мурманском побережьи.

49. *Шульгин В. М.*, Энергия Солнца, 88 стр., 58 рис., Библиотечка по физике для рабфаков под ред. В. М. Шульгина, Учпедгиз, М., 1931, ц. 45 коп.

Автор дает популярное изложение законов лучеиспускания, состава солнечной радиации и способов использования солнечной энергии для различных целей.

50. *Эпик Э. К.*, Солнце по новейшим исследованиям, 2-е изд., исправл. и дополн., 155 стр., 52 рис., 3 табл. в красках, Популярно-научная библиотека, ГИЗ, М.-Л., 1927, ц. 1 р. 50 к.

Содержательный общедоступно написанный обзор успехов физики Солнца, составленный на основании совокупности произведенных наблюдений.

51. *Юнг Ч.*, Солнце, Популярная монография, перевод И. А. Давыдова с измен. и дополн. А. А. Белопольского, VIII + 232 стр., 65 рис., 1 портрет и 1 табл., ГИЗ, М.-Л., 1923, ц. 2 руб.

Классическая книга, написанная в 1881 г. и предназначавшаяся автором не для ученых, но и не для масс. Сильно устарела, но не потеряла значения.

2. Статьи

52. *Азамбуж Л.*, Обзор успехов в области изучения Солнца в 1930 году, Мироведение, 21, № 3, 27—42, 1932 (5 черт.).

53. *Амафтунский А.*, К вопросу о солнечных пятнах и причинах их образования, Изв. РАО, 14, № 1, 6—20, 1908/09 (7 рис.).

54. *Амафтунский А.*, О возможных причинах возникновения некоторых явлений на солнце, Изв. РАО, 20, № 3, 84—90, 1914/15 (2 черт.).

55. *Акафтунский А.*, О некоторых явлениях в солнечных пятнах, Изв. РАО, 14, № 9, 322—328, 1908/09 (10 рис.).

56. *Амбарцумиан В. А.*, Загадки солнечной хромосферы, Мироведение, 25, № 3, 76—81, 1936.

57. *Амбарцумиан В. А.*, К вопросу о распределении озона в земной атмосфере, Бюлл. КИСО, № 5—6, 29—32, 1933.

58. *Баев К.*, Новое фотометрическое определение звездной величины Солнца, РАК, 1912, 18, 133—136.

59 *Баев К.*, Первые наблюдатели солнечных пятен, Изв. РАО, 20, № 4, 134—139, 1914/15 (2 рис.).

60. *Баев К.*, Попытка Turner'a объяснить периодичность солнечных пятен, Изв. РАО, 19, № 9, 273—278, 1913/14.

61. *Баев К.*, Современные теории Солнца, Изв. РАО, 18, № 2, 44—52, 1912/13.

62. *Барабашев Н. П.* и *Семейкин Б. Е.*, Первый советский спектрогелиоскоп, Мироведение, 25, № 1, 39—53, 1936 (11 рис.)

63. *Баранов А.*, Наблюдение Солнца, Изв. РАО, 14, № 6, 221—223, 1908/09 (3 рис.).

64—65 *Баранов А.*, Наблюдения Солнца, Изв. РАО, 12, № 7, 261—268, 1906/07 (10 рис.), 13, № 7, 265—268 (2 рис.).

66. *Бартельс Ю.*, Влияние изменений, происходящих на поверхности Солнца, на земной магнетизм, Мироведение, 23, № 5, 329—334, 1934 (4 черт., 2 табл.).

67. *Белопольский А.*, Вращение Солнца по спектрографическим наблюдениям в Пулкове в 1931, 1932 и 1933 гг., Бюлл. КИСО, № 5—6, 5—16, 1933 (2 черт.).

68. *Белопольский А. А., акад.*, О вращении Солнца, Природа, 22, № 3—4, 30—36, 1933 (7 рис.).

69. *Белопольский А.*, О вращении Солнца (предварительные результаты), Бюлл. КИСО, № 2, 5—9, 1932.

70. *Белопольский А. А., акад.*, О движении материи на поверхности солнца, Труды ноябрьской юбилейной сессии Академии наук СССР, 63—72, 1933 (7 черт.).

71. *Белопольский А. А.*, О солнечных пятнах, Изв. О-ва люб. естествозн., антроп. и этн., труды отдел. физич. наук, 65, вып. I, 8—9, 1890.

72. *Белопольский А. А.*, О спектре солнечных пятен, Изв. АН, V серия, 25, № 1—2, 99—122, 1906.

73. *Белопольский А. А.*, О температуре солнечных пятен, Изв. АН, VI серия, 9, № 2, 83—86, 1915.

74. *Белопольский А. А.*, Об аналогии между движениями на поверхности солнца и циркуляциями во вращающейся жидкой сфере, Труды VIII съезда русских естествоиспытателей, т. I, отд. 1, 31—35, 1890.

75. *Белопольский А. А.*, Определение вращения Солнца в 1933 г академическим спектрографом, Бюлл. КИСО, № 9, 5—12, 1934.

76. *Белопольский А. А.*, Отчет о командировке на 4-й съезд для кооперации по наблюдениям Солнца, состоявшийся в обсерватории на горе Вильсона, близ г. Пасадены, в Калифорнии, Изв. АН, VI серия, 4, № 15, 1213—1218, 1919.

77. *Белопольский А. А.*, Пятна на Солнце и их движение.

Ученые записки Московского университета, отд. физ.-мат., 7, 1—183, 1887.

78. *Белопольский А. А.*, Солнечный спектрограф Академии наук, Бюлл. КИСО, № 1, 1—6, 1932 (1 рис.).

79. *Березкин Вл. А.*, Коротковолновая радиация солнца и учет ее при фотосъемке, Записки по гидрографии, 1933, № 4, 1—23 (6 черт.).

80. *Блажко С. Н., прив.-доц.*, Температура Солнца и звезд, Природа, 5, № 2, столбцы 131—146, 1916 (3 рис.).

81. *Бредихин Ф. А.*, О солнечной короне, Изв. АН, новая серия, 9, № 3, 179—207, 1898.

82. *Бугославская Н. Я.*, Любительские наблюдения солнечного затмения, Мироведение, 25, № 3, 37—41, 1936.

83. *Бугославская Н. Я.*, Полоса полного солнечного затмения 19 июня 1936 года, Мироведение, 25, № 3, 32—36, 1936 (2 рис.).

84. *Бугославская Н. Я.*, Статистика солнечных пятен, Мироведение, 24, № 5, 350—358, 1935 (2 черт.).

85. *Былов М. В.*, Об определении количества водяного пара в атмосфере по полосам поглощения в инфракрасной части солнечного спектра, Труды Всесоюзной конф. по изуч. стратосферы 1934 г., 227—230 (6 черт.).

86. *Ваннари П.*, Суточный ход солнечного сияния в России, Записки АН, новая серия, 31, № 10, 1—31, 1913.

87. *Васнецов А.*, Заревое кольцо во время полного солнечного затмения, Изв. РАО, 20, № 7, 189—196, 1914/15 (1 черт., 1 табл.).

88. *Вейнберг Б. П., проф.*, Взаимоотношения гелиотехники и агротехники в свете интенсификации растениеводства, СОРЕНА, № 1, 148—160, 1933 (5 рис.).

89. *Вейнберг Б. П., проф.*, Использование солнечной энергии, Природа, 19, № 2, 107—144, 1930 (19 рис.).

90. *Вейнберг Б. П.*, Обзор патентной литературы по использованию солнечной энергии для технических целей, Вестник Комитета по делам изобретений, 1930, № 10 (72), 23—44, № 11 (73), 1—28 (с рис.).

91. *Вейнберг Б. П.*, Предпосылки к использованию солнечной энергии в СССР, Плановое хозяйство, 1927, № 6, 201—205.

92. *Вейнберг Б. П.*, Чего недостает для использования лучистой энергии Солнца в социалистическом строительстве? Мироведение, 23, № 5, 335—344, 1934 (3 рис.).

93. *Вильев М. А.* и *Морозов Н. А.*, Упрощенные таблицы движения Солнца, Юпитера и Сатурна, Изв. РОЛМ, 5, № 5(23), 223—236, 1916; 6, № 1(25), 32—49, 1917.

94. *Виннеке А. Ф.*, О Солнце (рассуждение), Приложение ко II тому Записок Академии наук, № 1, 1—74, 1862 (с рис.).

95. *Вильев М.*, Полное солнечное затмение 8 июня 1918 г., Изв. РАО, 21, № 4, 73—99, 1915/16.

96. *Витрам Ф.*, О полном солнечном затмении 28 июля (9 августа) 1896 г., Изв. РАО, 5, № 1—2, 47—50, 1896 (1 карта).

97. *Витрам Ф.*, Полное солнечное затмение 8/21 августа 1914 г., Ежегодник РАО на 1914 г., 140—155 (1 карта).

98. *Гальперсон С.*, Определение температуры фотосферы по закону Планка, Изв. РАО, 22, № 7, 212—213, 1916/17.

99. *Гальперсон С.*, Точность определения температуры солнечных пятен, Изв. РАО, 22, № 9, 26[illegible]—276, 1916/17.

100. *Гальперсон С.*, Фотоактинометрия на предстоящем полном солнечном затмении, Изв. РОЛМ, 3, № 2(10), 80—85, 1914 (7 рис.).

101. *Ганский А.*, О движении вещества в короне Солнца, Изв. РАО, 13, № 9, 295—303, 1907/08.

102. *Герасимович Б. П.*, Астрофизические проблемы затмения 19 июня 1936 г., Мироведение, 25, № 3, 82—90, 1936.

103. *Герасимович Б. П.*, Об основной задаче фотометрии солнечного спектра, Бюлл. КИСО, № 1, 7—11, 1932.

104. *Герасимович Б. П., проф.*, Подготовка к наблюдениям полного солнечного затмения 19 июня 1936 г., АК, 1936, 39, 139—150

105. *Герасимович Б. П.* и *Щербакова Е. Я.*, Условия наблюдения в СССР солнечного затмения 19 июня 1936 г., Бюлл. КИСО, № 13, 3—16, 1935 (2 вклейки) (на англ. яз.).

106. *Гершун А.*, Фотографирование солнечной короны экваториалом, Изв. РАО, 5, № 9, 414—421, 1896 (2 черт.).

107. *Глазенап С.*, Наблюдения прохождения Меркурия перед солнцем 6-го мая 1878 г., Журнал Русского физико-химического о-ва, отдел первый, 10, вып. 9, 251—260, 1878.

108. *Глазенап С. П.*, Петровская экспедиция для наблюдения полного солнечного затмения 7 августа 1887 г.

109. *Глазенап С. П.*, Полное солнечное затмение 7 августа 1887 г., Журнал элементарной математики, 1887

110. *Глазенап С.*, О новейших способах наблюдения предстоящего прохождения Венеры перед солнцем 8-го Декабря 1874 г. Журнал Русского физико-химического о-ва, отдел первый, 6, вып. 5, 98—103, 1874.

111. *Глазенап С.*, Экспедиции для наблюдения полного солнечного затмения 28 июля 1896 года, Изв. РАО, 5, № 9, 404—410, 1896.

112. *Голицын Б. Б.*, Определение моментов контактов во время солнечного затмения фотографическим способом, Изв. АН, новая серия, 9, № 4, 277—288, 1915 (1 рис.).

113. *Горленко С. М.*, Использование солнечной энергии, АК, 1935, 38, 161—173 (5 рис.).

114. *Горленко С. М.*, Солнечная энергия, ее измерение и кадастр, РАК, 1934, 37, 187—201.

115. *Гротриан В.*, О связи между солнечной радиацией, солнечными пятнами и метеорологическими явлениями, Мироведение, 24, № 6, 388—397, 1935 (7 черт.).

116. *Гэль Дж.*, О новейших успехах наших знаний о солнце, Успехи астрономии, 131—174, 1914 (9 рис.)

117. *Гэль Г. Э.*, Магнитность солнечных пятен (гл. VI книги «Глубины небес», ГИЗ, М.-Л., 1927, стр. 113—140, 12 рис.).

118. *Донич Н.*, Наблюдение полного солнечного затмения 23 мая 1900 года в Эльче (Испания, близ Аликанты), Изв. РАО, 8, № 7—9, 127—131, 1901.

119 *Донич Н.*, Наблюдения кольцеобразного затмения Солнца 16—17 марта 1904 года в Пном-Пэне (Камбоджа), Изв РАО, 12, № 1, 10—13, 1906/07 (2 фототипии).

120. *Донич Н.*, Наблюдения полного затмения Солнца 29—30 августа 1905 г., Изв. РАО, 14, № 3, 106—110, 1908/09.

121 *Донич Н*, Наблюдения полного солнечного затмения 17—18 мая 1901 года в Паданге (Суматра), Изв. РАО, 9, № 8—9 13—20, 1902/03 (2 таблицы-фототипии).

122 *Донич Н.*, Наблюдения прохождения Меркурия по диску Солнца 14 ноября 1907 г. в Ассуане (Верхний Египет), Изв РАО, 14, № 3, 111—112, 1908/09.

123 *Донич Н*, О наблюдении полного затмения Солнца 29—30 августа 1905 года, Изв РАО, 12, № 3, 109—111, 1906/07.

124 *Донич Н.*, О состоянии оболочек солнца во время последнего периода наименьшей его деятельности, Изв. РАО, 10, № 8—9, 280—286, 1905 (3 фототипии на 2 табл.).

125. *Донич Н.*, Об исследовании солнечной атмосферы вне затмений Солнца спектральным прибором с круглой щелью, Изв РАО, 11, № 2—3, 158—166, 1905/06 (3 фототипии).

126. *Донич Н.*, Об исследовании хромосферных слоев Н и К в обсерватории Иеркеса, Изв РАО, 12, № 3, 106—108, 1906/07.

127 *Диваев А*, Киргизское описание солнца, находящегося на небесах, Изв. РАО, 6, № 8—9, 433—435, 1898.

128. *Deslandres H.*, Развитие наших знаний о солнечной атмосфере, Изв. РАО, 17, № 3, 81—101, 1911/12 (8 рис.).

129. *Егоров Н. Г.*, Предстоящее солнечное затмение 28 июля (9 августа) 1896 г. и экспедиции Русского астрономического общества, Изв. РАО, 5, № 5, 228—238, 1896 (2 черт.).

130. *Ельяшевич М. А.*, Спектр поглощения земной атмосферы, III, Бюлл. КИСО, № 10—11, 33—34, 1934.

131. *Еропкин Д. И*, Аристарх Аполлонович Белопольский (некролог), Бюлл. КИСО, № 10—11, 5—6, 1934 (1 портрет).

132. *Еропкин Д. И.*, Замечания о химическом составе планетных атмосфер, Бюлл. КИСО, № 9, 17—25, 1934.

133. *Еропкин Д. И.*, К вопросу о распределении озона по широте, Бюлл. КИСО, № 5—6, 25—27, 1933 (1 черт.).

134. *Еропкин Д. И*, К изучению изменений теллурических линий, Бюлл. КИСО, № 3, 5—7, 1932.

135. *Еропкин Д. И.*, К определению поглощения солнечного света в земной атмосфере по лунным затмениям, Бюлл КИСО, № 2, 13—14, 1932.

136. *Еропкин Д. И*, К познанию состава планетных атмосфер, Бюлл. КИСО, № 5—6, 17—24, 1933 (1 черт.).

137. *Еропкин Д. И.*, Опыт исследования распределения энергии в ультрафиолетовом конце солнечного спектра на основе фотохимической теории равновесия озона в земной атмосфере, Бюлл. КИСО, № 9, 13—16, 1934.

138. *Еропкин Д. И.*, Спектр полярного сияния и свечения неба ночью и во время полной фазы солнечного затмения, Мироведение, 25, № 3, 91—95, 1936.

139—141 *Еропкин Д И* и *Кондратьев В Н* Спектр поглоще-

ния земной атмосферы, I, II, IV, Бюлл. КИСО, № 7, 3—15, № 8, 3—16 (1 черт.); № 10—11, 45—74, 1934.

142. *Еропкин Д. И., Кондратьев В. Н.* и *Яковлева А. В.*, Спектр поглощения земной атмосферы, V, Бюлл. КИСО, № 12, 3—23, 1935.

143. *Jennings Samuel*, Солнечные затмения и древняя история, Изв. РАО, 14, № 9, 329—338, 1908/09.

144. *Жданов А.*, Об астрономических работах Н. А. Тачалова в Ленской экспедиции Русского астрономического общества, Изв. РАО, 5, № 9, 411—413, 1896.

145. *Жуков Д. А.*, Список научных работ. акад. А. А. Белопольского, Бюлл. КИСО, № 10—11, 7—20, 1934.

146. *Златинский Владимир*, Наблюдение кольцеобразного солнечного затмения 17 апреля 1912 года, Изв. РАО, 19, № 1, 16—20, 1913/14 (4 рис.).

147. *Златинский Владимир*, Полное солнечное затмение 8 (21) августа 1914 г., Изв. РОЛМ, 3, № 3 (11), 137—144, 1914 (9 рис.).

148. *Златинский В.*, Пятна солнца и наблюдение их, Изв. РАО, 11, № 5—6, 241—259, 1905/06 (3 табл.).

149. *Златинский В.*, Экспедиция Пулковской обсерватории в Alcocebre (Испания) для наблюдения полного солнечного затмения 30 августа 1905 года, Изв. РАО, 12, № 9, 375—378, 1906/07.

150. *Иванов А. А., проф.*, Солнце, Ежегодник РАО на 1913 г., 109—149 (14 рис.).

151. *Иванов Л., проф.*, О приближенном вычислении сумм прямой солнечной радиации, Метеорологический вестник, 1925, № 4, стр. 81—87.

152. *Иванов Л., проф.*, О применении гелиографа Кемпбелла-Стокса для определения сумм солнечной радиации, Метеорологический вестник, 32, № 1—12, 1—12, 1922.

153. *Иванов Л. А., проф.*, Солнечная энергия и ее использование растением, Научное слово, 1929, № 3, 29—44 (3 черт.)

154. *Казанский И. А.*, Экспедиция Астрономо-геодезического института при 1 МГУ в Рингебу для наблюдения затмения 29 июня 1927 г., АЖ, 5, № 1, 86—92, 1928.

155. *Каульбарс Н.*, К вопросу о влиянии максимумов солнечных пятен на увеличение средних годовых температур соответствующих им годов в пределах Российской империи, Изв. РАО, 9, № 6—7, 90—111, 1902/03.

156. *Каульбарс Н.*, К вопросу о наблюдениях пятен Солнца, Изв. РАО, 8, № 7—9, 132—159 и 175, 1901 (1 рис.).

157. *Каульбарс Н.*, К вопросу о природе солнечных пятен, Изв. РАО, 7—9, 14—27, 1899 (3 рис.).

158. *Калитин Н. Н.*, Инфракрасная радиация солнца, Журнал геофизики, 4, № 4, 450—462, 1934.

159. *Калитин Н. Н.*, Использование солнечной лучистой энергии, Климат и погода, 1925, № 1, 9—16.

160. *Калитин Н. П., проф.*, Использование солнечной радиации для технических целей, Научное слово, 1929, № 6, 55—71 (8 рис.).

161. *Калитин Н. Н.*, Методика измерений отражения и пропускания солнечной лучистой энергии листьями растений, Журнал Русского ботанического о-ва, 16, № 1, 101—110, 1931.

162 *Калитин Н. Н., проф.*, Некоторые данные о современном состоянии актинометрии и путях ее развития, Журнал геофизики, 3, № 2, 119—122, 1933.
163. *Калитин Н. Н.*, О колебаниях солнечной постоянной, Изв РАО, 23, № 7—9, 111—120, 1921 (1 черт.).
164. *Калитин Н.*, Облачность в полосе полного солнечного затмения 20—21 августа 1914 года, Изв. РАО, 18, № 9, 330—336, 1912/13 (3 черт.).
165 *Калитин Н. Н., проф.* Солнечная радиация, Природа, 24, № 7, 1—9, 1935 (5 черт.).
166 *Калитин Н. Н.*, Солнечная радиация в тропосфере и стратосфере, Труды Всесоюзной конф. по изуч. стратосферы 1934, 155—162 (2 рис.).
167. *Калитин Н. Н.*, Солнечная радиация и проблемы метеорологии, Научное слово, 1928, № 10, 28—46 (4 черт.).
168. *Калитин Н. Н.*, О суточном и годовом ходе длинноволновой солнечной радиации, Доклады АН, новая серия, 3, № 5, 348 353, 1934.
169 *Калитин Н. Н.*, Полное солнечное затмение 8(21) августа 1914 г. и главнейшие метеорологические условия в полосе тени, Изв. РОЛМ, 3 № 9(1), 23—32, 1914 (1 карта, 2 черт.).
170. *Калитин Н. Н., проф.*, Ультрафиолетовая радиация солнца и атмосферы, Природа, 18, № 7—8, 595—606, 1929 (6 рис.).
171. *Каменский М.*, Наблюдения прохождения Меркурия по диску солнца 1—14 ноября 1907 г., Изв. РАО, 13, № 9, 306—311, 1907/08.
172. *Каменский М.*, О прохождениях Меркурия по диску Солнца, Изв. РАО, 13, № 6, 205—217, 1907/8.
173. Карта полного солнечного затмения 19 июня 1936 года (сост. под руководством А. Михайлова), Бюлл. КИСО, № 3, 1932 (карта в красках на двух листах).
174. *Козырев Н. А.*, Задачи наблюдений солнечной короны, Мироведение, 25, № 3, 61—64, 1936 (1 черт.).
175. *Козырев Н. А.* и *Амбарцумиан В. А.*, Температура солнечных факелов, Бюлл. КИСО, № 2, 11—12, 1932.
176. *Кондратьев В. Н.* и *Еропкин Д. И.*, Атмосферная полоса водяного пара 6324 Å в солнечном спектре, Докл. АН, новая серия, 4, 170—175, 1934.
177. *Куликов К. А.*, Определение диаметров Луны и Солнца по фотографиям солнечного затмения 29 июня 1927 г., АЖ, 12, № 6, 577—583, 1935 (3 черт.).
178. *Куницкий Р. В.*, Определение солнечного движения относительно центра инерции звезд, отстоящих от Солнца не далее 50 парсеков, РАЖ, 4, № 1, 44—59, 1927 (2 черт.) (на англ. яз. с резюме на русском яз.).
179. *Cadjori Florian, проф.*, Возраст солнца и земли, Изв РАО, 15, № 1, 7—16, 1909/10.
180. *Ларионов В.*, Определение покрытий звезд и солнечных затмений графическим способом проф. Ковальского, РАК, 1900, 6, 131—141 (5 черт.).
181. *Лебединский В.*, Некоторые результаты фотографиро-

вания солнца призматической камерой во время полного солнечного затмения 1896 г., Изв РАО, 8, № 4—6, 51—55, 1900 (2 рис.).

182 *Лебединский В*, О фотографировании солнца призматической камерой, Изв. РАО, 5, № 9, 422—426, 1896.

183 *Левицкий Г*, О наблюдениях солнечных пятен, Изв РАО 5, № 3, 74—121, 1896 (6 рис.).

184 *Лио Б*, Изучения солнечной короны вне затмений, Мироведение, 21, № 3, 43—47, 1932 (3 черт.).

185. *Ломоносов М. В.*, Явление Венеры на Солнце, наблюденное в Санкт-Петербургской И Академии Наук, Мая 26 дня 1761 г

186. *Львов Н. Н*, Вихревая теория солнечных пятен Бьеркнеса Мироведение, 22, № 2, 21—32, 1933 (14 черт.).

187. *Мамонтова Л. И.*, Граница ультрафиолетовой части солнечного спектра по наблюдениям в Слуцке, Журнал геофизики, 1, № 1—2, 42—52, 1931.

188. *Мамонтова Л.*, Ультрафиолетовая радиация Солнца, Мироведение, 21, № 3, 66—71, 1932 (3 черт.).

189. *Менделеев Д. И*, Воздушный полет из Клина во время затмения, Северный вестник, 1877, № 11, 87—124 и № 12, 57—93

190. *Михайлов А. А.*, Движение звезд и Солнца, Природа, 3, № 2, 1914.

191. *Михайлов А. А.*, К вопросу о движении солнца в пространстве, Изв. РАО, 21, № 9, 193—212, 1915/16 (6 черт.).

192. *Михайлов А.*, Корпускулярное затмение 19 июня 1936 г. (на английском языке), Бюлл. КИСО, № 14, 3 10, 1935 (4 карты).

193. *Михайлов А. А.*, О влиянии неточности координат Луны на условия видимости солнечного затмения, Изв. РАО, 18, № 9, 316—329, 1912/13 (2 черт.).

194. *Михайлов А А.*, О вычислении «изогон» солнечного затмения, Изв. РАО, 18, № 2, 73—75, 1912/13.

195. *Михайлов А А*, О линии центрального затмения Солнца 17 апреля 1912 года, Изв. РАО, 18, № 1, 1—4, 1912/13.

196. *Михайлов А. А*, О наблюдении полного солнечного затмения 8/21 августа 1914 г., Изв. РАО, 19, № 8, 250—252, 1913/14 (1 черт.).

197. *Михайлов А. А.*, О некоторых вспомогательных средствах для вычисления солнечных затмений, Изв. РАО, 23, № 1—3, 13—21, 1919 (2 черт.).

198. *Михайлов А. А.*, О полном солнечном затмении 19 июня 1936 г., Бюлл. КИСО, № 1, 13—14, 1932.

199. *Михайлов А. А.*, О таблицах солнечных затмений, РАЖ, 3, № 3—4, 185—190, 1926 (на немецком языке с резюме на русском языке).

200. *Михайлов А А.*, Об определении точек видимости солнечного затмения в горизонте, Изв РАО, 22, № 8, 221—238, 1916/17 (3 черт.).

201 *Михайлов А. А*, Об определении условий видимости солнечных затмений для земли вообще, Изв РАО, 16, № 9, 300—314, 1910/11 (1 карта в тексте).

202. *Михайлов А. А.*, Обработка фотографий серпов солнечного затмения 8/21 августа 1914 года, Изв. РАО, 21, № 1, 1—23, 1915/16 (3 черт.).

203. *Михайлов А. А., прив.-доц.*, Солнечное затмение в августе 1914 г., Природа, 3, № 6, столбцы 643—660, 1914 (6 рис., 1 карта).

204. *Михайлов А. А.*, Солнечное затмение 10(23) января 1917 г., Изв. РОЛМ, 5, № 6(24), 267—268, 1915 (1 карта).

205. *Михайлов А. А.*, Солнечное затмение 29 июня 1927 г., РАЖ, 3, № 3—4, 165—169, 1926 (2 карты).

206. *Михайлов А. А.*, Солнечное затмение 18 апреля 1931 г., РАЖ, 7, № 3—4, 199—201, 1930 (1 карта).

207. *Михайлов А. А., проф.*, Солнечное затмение 19 июля 1936 г., Наука и жизнь, 1936, № 6, 2—8 (6 рис., 1 карта).

208. *Михайлов А. А.*, Фотографирование солнечного затмения, РАК, 1913, 19, 125—130 (4 рис. на 3 табл.).

209. *Михайлов А. А., проф.*, Эффект Эйнштейна, Наука и жизнь, 1936, № 4, 14—19 (6 рис.).

210. *Михайлов А. А.* и *Яхонтов К. Н.*, Затмение Солнца 12 ноября 1928 г., АЖ, 5, № 1, 77—79, 1928 (1 карта).

211. *Мозер А. Э.*, Химия Солнца, Природа, 3, № 10, столбцы 1157—1170, 1914 (1 рис.).

212. *Моисеев А. П.*, Зависимость средних месячных, сезонных и годичных температур в Москве от солнцедеятельности, Мироведение, 19, № 5—6, 150—156, 1930 (3 черт.).

213. *Моисеев А. П.*, Заметки о строении и развитии групп солнечных пятен, Мироведение, 14, № 1, 55—66, 1925 (8 рис.).

214. *Морозов Николай* и *Штауде Нина*, Классификация солнечных и лунных затмений, которые были видимы в Европе, Северной Африке и Западной Азии, Изв. Петрогр. научн. инст. им. П. Ф. Лесгафта, 5, 246—284, 1922; 6, 141—153, 1923.

215. *Мошонкин М.*, Коронограф, построенный для экспедиций РОЛМ на солнечное затмение 8 августа 1914 г., Изв. РОЛМ, 3, № 4(12), 209—225, 1914 (9 рис.).

216. *Муратов С.*, Неоднородность физического строения Солнца, Изв. РАО, 17, № 1, 15—20, 1911/12.

217. *Муратов С. В.*, Солнечный телескоп на обсерватории РОЛ Мироведения и Научного института Лесгафта, Мироведение, 16, № 1, 25—28, 1927 (2 рис.).

218. *Мурашкинский В.*, Спектрогелиографические исследования солнечной атмосферы, Изв. РАО, 17, № 2, 46—71, 1911/12 (8 рис.).

219. *Мурашкинский В. Е.*, Спектрорегистрирование радиальных движений паров солнечной атмосферы, Журнал Р. физико-хим. о-ва, физич. отд., 43, вып. 6, 1912.

220. *Набоков М. Е.*, Впечатления от затмения 8 августа 1914 г., Изв. РАО, 21, № 2, 38—40, 1915/16 (1 черт.).

221. *Набоков М.*, Наблюдения солнца и определение координат солнечных пятен, Изв. РАО, 14, № 1, 21—30, 1908/09 (6 черт.).

222. *Набоков М. Е.*, Определение «актиническего освещения» во время затмения солнца, Изв. РАО, 20, № 2, 36—40, 1914/15 (4 рис.).

223. *Недзвецкий Б.*, Двойной коронограф с параллактической установкой, Изв. РАО, 20, № 8, 273—276, 1914/15 (3 рис.)

224. *Орлов А.*, О полном затмении солнца 1907 г., Изв. РАО, 9, № 1—3, 48—52, 1902/03 (1 карта).

225. *Орлов А., проф.*, О скорости вращения солнца по наблюдениям солнечных пятен в Одессе с 1894 по 1911 г., Изв. РАО, 22, № 7, 201—211, 1916/17 (1 черт.).

226. *Орлов А.*, Об одном вопросе из теории затмений, Изв. РАО, 12, № 3, 100—105, 1906/07 (1 черт.).

227. *Орлов А.*, По поводу полного солнечного затмения 27 августа 1904 года, Изв. РАО, 11, № 1, 35—39, 1905/06.

228. *Орлов С. В.*, О связи между яркостью комет и деятельностью на поверхности Солнца, Труды Главной российской астрофизической обсерватории, 2, 150—155, 1923 (2 черт.).

229. *Олинский Г. Э.*, Ультрафиолетовый конец солнечного спектра по наблюдениям 1930 г. на Мурмане, Изв. Гл. геофиз. обсерватории, 1931, № 3—4, 31—36.

230. *Парийский Н. Н.*, Теории строения солнечной короны, Мироведение, 25, № 3, 65—71, 1936.

231. *Пархоменко П.*, Метод изучения оптических свойств солнечной атмосферы, АЖ, 10, № 1, 22—28, 1934 (3 черт.).

232. *Пархоменко П.*, О свойствах излучения в солнечной хромосфере, АЖ, 9, № 3—4, 135—139, 1932 (2 черт.).

233. *Пархоменко П.*, Оптика солнечной атмосферы, АЖ, 12, № 2, 140—144, 1935 (на немецк. языке с резюме на русск. языке)

234. *Певцов М.*, Сокращенный способ предвычисления покрытий неподвижных звезд луной и солнечных затмений для данных мест, Изв. РАО, 8, № 7—9, 106—126, 1901 (2 черт.).

235. *Перепелкин Е. Я., проф.*, Изучение атмосферы Солнца во время полных солнечных затмений, Наука и жизнь, 1935, № 6, 15—20 (2 рис.).

236. *Перепелкин Е. Я.*, Исследование Солнца в Советском союзе, Астрономия в СССР за XV лет, 103—112, 1932.

237. *Перепелкин Е. Я.*, Методы исследования Солнца (раздел V первой части «Курса астрофизики и звездной астрономии» под ред. Б. П. Герасимовича, ОНТИ, 1934, стр. 315—342, 17 рис.)

238. *Перепелкин Е. Я.*, Номограммы для вычисления приближенных гелиографических координат деталей поверхности Солнца, Бюлл. КИСО, № 2, 15—18, 1932 (2 номограммы)

239. *Перепелкин Е. Я.*, О наблюдениях ионизации стратосферы во время полных солнечных затмений, Труды Всесоюзной конф. по изуч. стратосферы 1934 г., 537—538.

240. *Перепелкин Е. Я.*, О природе влияния солнечной деятельности на явления в стратосфере, Труды Всесоюзной конф. по изуч. стратосферы 1934 г., 531—536.

241. *Перепелкин Е. Я.*, О структуре солнечной хромосферы, Бюлл. КИСО, № 4, 5—21, 1933 (3 черт.).

242. *Перепелкин Е. Я.*, Об определении времени обращения Солнца посредством очень спокойных протуберанцев, РАЖ, 2, № 4, 24—29, 1925 (на французском языке с резюме на русском языке).

243 *Перепелкин Е. Я.*, Применение теории ионизации к астрофизике, Природа, 17, № 6, столбцы 515—522, 1928 (1 черт.).

244 *Перепелкин Е. Я.*, Проблема вращения Солнца, как она представляется в настоящее время, УАН, 4, 3—21, 1935.

245. *Перепелкин Е. Я.*, Протуберанцы в 1923 г., Мироведение, 13, № 1(46), 57—62, 1924 (3 черт.).

246 *Перепелкин Е. Я.*, Современные задачи и методы наблюдений солнечных затмений, АК, 1932, 35, 153—168 (6 рис.).

247 *Перепелкин Е. Я.*, Солнце (раздел I второй части «Курса астрофизики и звездной астрономии» под ред. Б. П. Герасимовича, ОНТИ, 1936, стр. 7—157, 56 рис.).

248 *Перепелкин Е. Я.*, Спектрогелиоскоп и работа с ним, АК 1936, 39, 151—161 (10 рис.).

249. *Перепелкин Е. Я.*, Успехи изучения протуберанцев и механизма влияния деятельности Солнца на земные явления, Мироведение, 23, № 5, 317—328, 1934 (2 черт.).

250 *Петрушевский Ф.*, Общие выводы (из наблюдений полного солнечного затмения 28 июля 1896 г.), Изв. РАО, 5, № 9, 427—428, 1896.

251. *Покровский К. Д., проф.*, Наблюдения полного солнечного затмения 8/21 августа 1914 года в экспедициях Юрьевской обсерватории, Природа, 3, № 10, столбцы 1123—1134, 1914 (6 рис.)

252 *Покровский К.*, О солнце, Образование, 1899, № 2—3, 69—82, 104—124 (19 рис.).

253. *Покровский К. Д., проф.*, Солнечная обсерватория на горе Вильсона, Природа, 2, № 12, столбцы 1391—1400, 1913 (11 рис.).

254. *Покровский С.*, О спектрогелиоскопе, Изв. РАО, 17, № 5, 180—183, 1911/12 (1 черт.).

255 *Полак И. Ф., проф.*, Метеорная гипотеза солнечных пятен. проф. Тернера, Природа, 3, № 3, столбцы 259—268, 1914 (4 черт.).

256 *Полак И. Ф., проф.*, Солнце на полярном круге, РАК, 1932, 35, 180—187.

257. *Попов П., проф.*, Энергия Солнца и звезд и ее источники, Математика и физика в средней школе, 1934, № 4, 35—41

258. *Попов П., проф.* и *Бугославская Н.*, Полное солнечное затмение 19 июня 1936 г. в СССР, Математика и физика в средней школе, 1936, № 2, 49—57 (3 рис.).

259. Протокол заседания Комиссии по исследованию Солнца Академии наук СССР от 28 ноября 1930 г., Бюлл. КИСО, № 1, 15—19, 1932.

260. *Пюизе П.*, Место солнца между звездами, Успехи астрономии, 175—191, 1914.

261. *Ремизов Н. А.*, Граница ультрафиолетовой части солнечного спектра по наблюдениям 1930 года на Новой Земле и Земле Франца-Иосифа, Изв. Гл. геофиз. обсерватории, 4, 36—44, 1931.

262. *Роговский Е.*, Заметка об атмосферах планет, температуре солнца, небесного пространства и земной атмосферы, Журнал Русского физико-химического о-ва, физический отдел, 16, вып. 5, 524—538, 1884

263. *Роговский Е.*, Еще о температуре и составе атмосфер солнца и планет, Изв. РАО, 8, № 1—3, 32—45, 1899.

223. *Недзвецкий Б.*, Двойной коронограф с параллактической установкой, Изв РАО, 20, № 8, 273—276, 1914/15 (3 рис.)

224. *Орлов А.*, О полном затмении солнца 1907 г., Изв. РАО, 9, № 1—3, 48—52, 1902/03 (1 карта).

225. *Орлов А., проф.*, О скорости вращения солнца по наблюдениям солнечных пятен в Одессе с 1894 по 1911 г., Изв РАО, 22, № 7, 201—211, 1916/17 (1 черт.).

226. *Орлов А.*, Об одном вопросе из теории затмений, Изв РАО, 12, № 3, 100—105, 1906/07 (1 черт.).

227. *Орлов А.*, По поводу полного солнечного затмения 27 августа 1904 года, Изв. РАО, 11, № 1, 35—39, 1905/06.

228. *Орлов С. В.*, О связи между яркостью комет и деятельностью на поверхности Солнца, Труды Главной российской астрофизической обсерватории, 2, 150—155, 1923 (2 черт.).

229. *Олинский Г. Э.*, Ультрафиолетовый конец солнечного спектра по наблюдениям 1930 г. на Мурмане, Изв. Гл. геофиз. обсерватории, 1931, № 3—4, 31—36.

230. *Парийский Н. Н.*, Теории строения солнечной короны, Мироведение, 25, № 3, 65—71, 1936.

231. *Пархоменко П.*, Метод изучения оптических свойств солнечной атмосферы, АЖ, 10, № 1, 22—28, 1934 (3 черт.).

232. *Пархоменко П.*, О свойствах излучения в солнечной хромосфере, АЖ, 9, № 3—4, 135—139, 1932 (2 черт.).

233. *Пархоменко П.*, Оптика солнечной атмосферы, АЖ, 12, № 2, 140—144, 1935 (на немецк. языке с резюме на русск. языке)

234. *Певцов М.*, Сокращенный способ предвычисления покрытий неподвижных звезд луной и солнечных затмений для данных мест, Изв. РАО, 8, № 7—9, 106—126, 1901 (2 черт.).

235. *Перепелкин Е. Я., проф.*, Изучение атмосферы Солнца во время полных солнечных затмений, Наука и жизнь, 1935, № 6, 15—20 (2 рис.).

236. *Перепелкин Е. Я.*, Исследование Солнца в Советском союзе, Астрономия в СССР за XV лет, 103—112, 1932.

237. *Перепелкин Е. Я.*, Методы исследования Солнца (раздел V первой части «Курса астрофизики и звездной астрономии» под ред. Б. П. Герасимовича, ОНТИ, 1934, стр. 315—342, 17 рис.)

238. *Перепелкин Е. Я.*, Номограммы для вычисления приближенных гелиографических координат деталей поверхности Солнца, Бюлл. КИСО, № 2, 15—18, 1932 (2 номограммы).

239. *Перепелкин Е. Я.*, О наблюдениях ионизации стратосферы во время полных солнечных затмений, Труды Всесоюзной конф. по изуч. стратосферы 1934 г., 537—538.

240. *Перепелкин Е. Я.*, О природе влияния солнечной деятельности на явления в стратосфере, Труды Всесоюзной конф. по изуч. стратосферы 1934 г., 531—536.

241. *Перепелкин Е. Я.*, О структуре солнечной хромосферы, Бюлл. КИСО, № 4, 5—21, 1933 (3 черт.).

242. *Перепелкин Е. Я.*, Об определении времени обращения Солнца посредством очень спокойных протуберанцев, РАЖ, 2, № 4, 24—29, 1925 (на французском языке с резюме на русском языке).

243 *Перепелкин Е. Я*, Применение теории ионизации к астрофизике, Природа, 17, № 6, столбцы 515—522, 1923 (1 черт.)

244 *Перепелкин Е. Я*, Проблема вращения Солнца, как она представляется в настоящее время, УАН, 4, 3—21, 1935.

245 *Перепелкин Е. Я*, Протуберанцы в 1923 г, Мироведение, 1[illegible], № 1(46), 57—62, 1924 (3 черт.).

246. *Перепелкин Е. Я*, Современные задачи и методы наблюдении солнечных затмений, АК, 1932, 35, 153—163 (6 рис.).

247 *Перепелкин Е. Я*, Солнце (раздел I второй части «Курса астрофизики и звездной астрономии» под ред. Б П Герасимовича, ОНТИ, 1936, стр. 7—157, 56 рис.).

248. *Перепелкин Е. Я*, Спектрогелиоскоп и работа с ним, АК 1936, 39, 151—161 (10 рис.).

249. *Перепелкин Е. Я.*, Успехи изучения протуберанцев и механизма влияния деятельности Солнца на земные явления, Мироведение, 23, № 5, 317—328, 1934 (2 черт.).

250. *Петрушевский Ф*, Общие выводы (из наблюдений полного солнечного затмения 23 июля 1896 г.), Изв РАО, 5, № 9, 427—428, 1896.

251. *Покровский К. Д., проф.*, Наблюдения полного солнечного затмения 8/21 августа 1914 года в экспедициях Юрьевской обсерватории, Природа, 3, № 10, столбцы 1123—1134, 1914 (6 рис.)

252. *Покровский К*, О солнце, Образование, 1899, № 2—3, 69—82, 104—124 (19 рис.).

253. *Покровский К. Д., проф*, Солнечная обсерватория на горе Вильсона, Природа, 2, № 12, столбцы 1391—1400, 1913 (11 рис.).

254 *Покровский С*, О спектрогелиоскопе, Изв. РАО, 17, № 5, 180—183, 1911/12 (1 черт.).

255 *Полак И. Ф, проф.*, Метеорная гипотеза солнечных пятен проф Тернера, Природа, 3, № 3, столбцы 259—268, 1914 (4 черт).

256. *Полак И. Ф., проф.*, Солнце на полярном круге, РАК, 1932, 35, 180—187.

257. *Попов П., проф*, Энергия Солнца и звезд и ее источники, Математика и физика в средней школе, 1934, № 4, 35—41.

258. *Попов П., проф.* и *Бугославская Н.*, Полное солнечное затмение 19 июня 1936 г. в СССР, Математика и физика в средней школе, 1936, № 2, 49—57 (3 рис.).

259. Протокол заседания Комиссии по исследованию Солнца Академии наук СССР от 28 ноября 1930 г, Бюлл. КИСО, № 1, 15—19, 1932.

260. *Пюизе П.*, Место солнца между звездами, Успехи астрономии, 175—191, 1914.

261 *Ремизов Н. А.*, Граница ультрафиолетовой части солнечного спектра по наблюдениям 1930 года на Новой Земле и Земле Франца-Иосифа, Изв. Гл. геофиз. обсерватории, 4, 36—44, 1931

262. *Роговский Е.*, Заметка об атмосферах планет, температуре солнца, небесного пространства и земной атмосферы, Журнал Русского физико-химического о-ва, физический отдел, 16, вып. 5, 524—538, 1884

263. *Роговский Е.*, Еще о температуре и составе атмосфер солнца и планет, Изв. РАО, 8, № 1—3, 32—45, 1899.

264 *Роговский Е.*, О составе атмосфер солнца и планет и их температуре, Изв. РАО, 7, № 1—3, 10—34, 1898.

265. *Роде А*, Зеркальный эклипсограф, Изв РОЛМ, 1, № 1 (13), 23—28, 1915 (2 рис.).

266 *Родионоа С*, *Павлова Е*, *Рейнов Н* и др, К вопросу об измерении коротковолновой ультрафиолетовой части солнечного спектра, Доклады АН, новая серия, 1935, 1, № 1, 26—28

267 *Розанов А.*, Определение положения пятен на поверхности солнца, Изв. РАО, 13, № 2, 32 51 (12 черт и 1 диаграмма), № 6, 218—228 (3 черт.), 1907/08; 14, № 6, 208—220, 1908/09 (6 рис.).

268. *Розанов А. Н*, Упрощенный способ определения положения солнечных пятен в элементах Каррингтона, РАК, 1925, 28, 143—149 (1 черт.).

269. *Святский Д. О.*, Периодичность солнечной активности в далеком прошлом, Мироведение, 7, № 5 (35), 232 241, 1918

270. *Святский Д.*, Полярные сияния и солнечные пятна в 1915 году, Изв. РОЛМ, 5, № 1 (19), 1—7, 1916.

271. *Святский Д.*, Программа биологических наблюдений во время полного солнечного затмения 8 августа 1914 г, Изв РОЛМ, 3, № 2 (10), 89—94, 1914 (2 рис.).

272. *Селиванов С.*, Магнитная буря и северное сияние 12 (25) апреля 1916 г в связи с пятнами на Солнце, Изв РОЛМ, 5, № 4 (22), 175—180, 1916 (2 рис.).

273. *Селиванов С*, Метеорологические наблюдения во время затмения, Изв. РОЛМ, 3, № 2 (10), 85—89, 1914 (2 черт.).

274 *Селиванов С. М*, Определение положения солнечных пятен, Мироведение, 7, № 1 (31), 15—21, 1918.

275. *Селиванов С*, Пробуждение пятнообразовательной деятельности Солнца, Изв РОЛМ, 4, № 5 (17), 201 204, 1915 (3 рис.).

276 *Селиванов С.*, *Мальцев В.* и *Тихонов Н П*, Экспедиция Р. О. Л Мироведения в Северную Финляндию для наблюдения полного солнечного затмения 29/VI 1927 г, Мироведение, 17, № 2, 57—106, 1928 (16 рис., 2 табл.).

277. *Сикора И*, Демонстрирование затмения на экране, Изв. РОЛМ, 3, № 2 (10), 77—80, 1914 (1 черт.).

278. *Сикора И.*, Различные проявления физической жизни солнца во время затмения 28 июля 1896 года, Изв. РАО, 6, № 8—9, 422—427, 1897 (1 рис.).

279. *Скворцов Е.*, Способы определения солнечного параллакса, Изв. РАО, 11, № 6, 243—255, 1905 06 (3 черт), 12, № 9, 352—374, 1906/07 (8 рис.); 13, № 5, 169—190, 1907/08

280 *Слуцкий Евгений*, К вопросу о солнечной постоянной, Журнал геофизики, 4, № 3, 392—399, 1934 (2 черт.).

281 *Слуцкий Евгений*, К вопросу о существовании связи между солнечной постоянной и температурой, Журнал геофизики, 3, № 3, 263—281, 1933 (3 черт.).

282. *Смирнов Н.*, Русское отделение международной комиссии по исследованиям солнца, Изв. РАО, 12, № 3, 112—123, 1906/07.

283. *Стрэттон Ф., проф.*, Проблемы и методика наблюдении полных солнечных затмении, УАН, 1, 69—86, 1932.

284. *Субботина Н.*, О затмении 30 августа 1905 года, Изв. РАО, 12, № 1, 14—22, 1906/07.

285 *Субботина Н*, О психологии наблюдателя и психологических наблюдениях во время солнечного затмения, Изв РОЛМ 3, № 2 (10), 94—99, 1914.

286 *Субботина Н*, Солнечное затмение 8 августа 1914 г на Кундур-Тепе, Изв. РОЛМ, 4, № 1 (13), 1—8, 1915.

287. Таблицы солнечной деятельности (активности) с 1749 г. по 1931 г., Бюлл. КИСО, № 3, 10—16, 1932; № 5—6, 33—34, 1933 (1 черт.).

288. *Тер-Оганезов В. Т.*, Полные солнечные затмения, Мироведение, 25, № 3, 4—31, 1936 (18 рис.).

289—294. *Тесля С. И.*, Солнечные пятна в 1905 и 1906 гг.; в 1907 г.; в 1908 г.; в 1909 г.; в 1910 г., 1911 и 1912 гг.; в 1914 г., Изв РАО, 13, № 2, 62—69, 1907/08, 14, № 4, 152—157, 1908/09, 16, № 6, 212—220, 1910/11, 20, № 9, 284—302, 1914/15.

295 *Тихов Г. А*, Магнитные явления на Солнце (Исследования на обсерватории Mount Wilson в Америке), Мироведение, 10, № 2 (41), 140—144, 1921.

296. *Тихов Г. А.*, Непрерывный спектр и цвет солнечной короны, Мироведение, 25, № 3, 42—49, 1936.

297. *Тихов Г*, О наблюдениях во время солнечных затмении простым глазом и при помощи простейших приборов, Изв. РОЛМ, 3, № 9 (1), 33—47, 1914 (3 рис. и 1 табл.).

298—306 *Тищенков (Тищенко) Я.*, Солнечные пятна в 1905 г, в 1906 г.; в 1907 г.; в 1908 г.; в 1909 г.; в 1910 г.; в 1911 г.; в 1912 г.; в 1913 г.; Изв. РАО, 12, № 2, 44—49, 1906; 13, № 2, 52—61, 1907/08 (3 рис.); 14, № 4, 140—151, 1908/09 (6 рис.); 15, № 4, 103—119, 1909/10 (4 рис.); 16, № 1, 16—33, 1910/11 (1 рис.); 17, № 3, 102—117, 1911/12; 18, № 4, 169—182, 1912/13 (1 черт.); 19, № 5, 157—163, 1913/14, 20, № 9, 307—311, 1914/15

307. *Трофимов К. Г.*, Аккумулирование солнечной энергии для практических целей, Бюлл. пост. актинометрической комиссии, № 2 (16), 57—63, 1930.

308. *Турчинович Н. Г., Селиванов С. М., Мошонкин М. Я., Штауде Н. М.* и *Вапне Ф. Ф.*, Экспедиция Р. О. Л. М. в Мурманск для наблюдения солнечного затмения 8 апреля 1921 г., Мироведение, 10, № 2 (41), 151—172, 1921.

309. *Фесенков В. Г.*, К вопросу об определении поляризации солнечной короны, Доклады АН, новая серия, 1934, 3, № 6, 447—449

310. *Фесенков В. Г.*, К вопросу об определении солнечной постоянной, АЖ, 10, № 3, 249—266, 1933.

311. *Фесенков В. Г.*, К методике фотометрии солнечной короны, АЖ, 13, № 1, 8—12, 1936 (1 черт.).

312. *Фесенков В. Г.*, Методы и вопросы астрофизики в области актинометрии и атмосферной оптики в применении к задачам геофизики, АЖ, 8, № 2, 87—101, 1931.

313. *Фесенков В. Г.*, Некоторые соображения о наблюдении полного солнечного затмения с самолета, АЖ, 13, № 1, 13—18,

1936 (4 черт., на французском языке с резюме на русском языке).

314. *Фесенков В. Г.*, О возможности наблюдения зодиакального света во время полного солнечного затмения, РАЖ, 3, № 3—4, 170—184, 1926 (на английском языке с резюме на русском языке).

315. *Фесенков В. Г.*, О природе солнечной короны, Мироведение, 25, № 3, 50—55, 1936.

316. *Фесенков В. Г., проф.*, О связи солнечной деятельности с земными явлениями, Мироведение, 20, № 2, 1—13, 1931

317. *Фесенков В. Г.*, Определение движения Солнца по радиальным скоростям звезд, РАЖ, 2, № 2, 1—16, 1925 (1 черт., на английском языке с резюме на русском языке).

318. *Фесенков В. Г.*, Определение дефекта радиации в солнечных пятнах, Доклады АН, новая серия, 1, № 5, 291—293, 1935.

319. *Фесенков В. Г.*, Определение поляризации солнечной короны, АЖ, 12, № 4, 309—323, 1935 (8 черт., на французском языке с резюме на русском языке).

320. *Фесенков В. Г.*, Связь солнечной деятельности с земными явлениями, АЖ, 6, № 3—4, 201—210, 1929.

321. *Фесенков В. Г.*, Определение температур солнечных пятен и факелов, Бюлл. КИСО, № 10—11, 21—32, 1934 (2 черт.).

322. *Фесенков В.*, Служба Солнца в СССР, Астрономия в СССР за XV лет, 91—102, 1932.

323. *Фесенков В. Г.*, Термоинтегратор — прибор для определения суммарной радиации деталей солнечной поверхности, АЖ, 12, № 2, 164—166, 1935 (2 черт.).

324. *Фесенков В. Г.*, Экспедиция Гос. астрофизического института в Швецию для наблюдения полного солнечного затмения 29 июня 1927 года, АЖ, 5, № 1, 80—85, 1928 (2 рис.).

325. *Фесенков В. Г.* и *Огородников К. Ф.*, Определение скорости и направления движения солнца по радиальным скоростям звезд типа *B*, РАЖ, 1, № 2, 1—11, 1924.

326. *Фесенков В. Г.* и *Огородников К. Ф.*, Определение собственного движения Солнца по пространственным скоростям звезд, РАЖ, 3, № 1, 36—39, 1926.

327. *Фесенков В. Г.* и *Огородников К. Ф.*, Определение солнечного движения по полным скоростям звезд, РАЖ, 2, № 1, 37—50, 1925 (на английском языке с резюме на русском языке).

328. *Цераский В., проф.*, Несколько соображений о температуре Солнца на основании опытов с большим зажигательным стеклом, Мир божий, 1895, № 3, 202—209.

329. *Цераский В., проф.*, Окуляр для детального изучения солнечных пятен, Изв. РАО, 12, № 6, 223—225, 1906/07 (1 рис.).

330. *Циолковский К.*, Продолжительность лучеиспускания солнца, Из протоколов Нижегородского кружка любителей физики и астрономии, 1—16.

331. *Циолковский К.*, Солнце и завоевание пустынь, Вестник знания, 1933, № 5—6, 182—183 (6 черт., 1 портрет)

332. *Чижевский И. К.,* О течениях на поверхностях Солнца и Юпитера, Изв. РОЛМ, 4, № 5 (17), 205—208, 1915 (1 черт.).

333. *Чижевский И.,* Полосы на Юпитере и пятнообразовательная деятельность Солнца, Изв. РОЛМ, 2, № 3 (7), 121—124, 1913 (1 рис.).

334. *Чирвинский П. Н.,* Механизм образования солнечных пятен, Мироведение, 12, № 1 (44), 1—6, 1923.

335. *Шайн Г. А.,* Об исследовании движений в солнечной короне, Мироведение, 25, № 3, 56—60, 1936.

336. *Шаронов В. В.,* Инструкция к научным любительским наблюдениям солнечного затмения 19 июня 1936, АК 1936, 39, 162—168.

337. *Шаронов В. В.,* Исследование строения групп солнечных пятен, Мироведение, 14, № 2, 179—192, 1925 (2 рис.).

338. *Шаронов В. В.,* Определение положения пятен на Солнце, Мироведение, 13, № 1 (46), 43—57, 1924 (3 черт.).

339. *Шаронов В. В.,* Результаты метеорологических наблюдений во время солнечного затмения 8/IV 1921 г., Труды астрономической секции РОЛМ, № 1 (4), 1—17, 1927 (3 черт.) (Приложение к № 1 Мироведения за 1927 г.).

340. *Шаронов В. В.,* Роль фотометрии при наблюдениях солнечных затмений, Мироведение, 25, № 3, 72—75, 1936.

341. *Шаронов В. В.,* Солнце в 1922 г., Мироведение, 12, № 2 (45), 175—183, 1923 (1 рис.).

342. *Шаронов В. В.,* Солнце в 1926 г., Труды астрономической секции РОЛМ, № 2 (5), 19—40, 1927 (4 рис.) (Приложение к № 3 Мироведения за 1927 г.).

343. *Шаронов В. В.,* Статистика солнечной деятельности за 1916, 1917, 1918 гг., Труды астрономической секции РОЛМ, № 3, 1—31, 1921 (1 черт.).

344. *Шаронов В.,* Статистические наблюдения Солнца, Мироведение, 9, № 1—38, 40—45, 1920 (1 рис.).

345. *Шаронов В. В.,* Счет солнечных пятен, РАК, 1925, 28, 150—156 (2 рис.).

346. *Шенрок А.,* Результаты метеорологических наблюдений, произведенных в России во время солнечного затмения 19 августа 1887 г., Записки АН, 60, приложение № 4, 1—22, 1889 (1 табл.).

347. *Шенрок Ив.,* О вычислении затмений Солнца и покрытий Луною звезд и планет для данного места на земной поверхности, РАК на 1903 г., 9, 50—81 (приложения) (10 черт.).

348. *Шенрок Иван,* О вычислении точек изохрон начала и конца солнечного затмения, РАК на 1907 г., 13, 1—9 (приложения).

349. *Шенрок Ив.,* Об определении положения на земной поверхности точек и кривых линий, относящихся к данному солнечному затмению, РАК на 1904 г., 10, 42—67 (приложеиия) (2 черт.).

350. *Шорыгин С. А.,* Что можно наблюдать в природе во время затмения, Наука и жизнь, 1936, № 6, 9—12 (5 рис.).

351. *Штауде Н.*, Карадагская экспедиция на солнечное затмение 8 августа 1914 г., Изв. РОЛМ, 3, № 4 (12), 185—209, 1914 (4 рис., 1 табл.).

352. *Штефко В.*, Влияние деятельности солнца на атмосферу земли, Изв. РАО, 18, № 8, 293—294, 1912/13.

353. *Щербаков С.*, Движение полного солнечного затмения по Земле, РАК 1914, 20, 154—158 (2 черт.).

354. *Щербаков С. В.*, Юрьевецкая экспедиция для наблюдения солнечного затмения 1887 (из астрономической хроники), АК, 1936, 39, 128—138.

355. *Эйгенсон М. С.*, О статистике протуберанцев, Труды астрономической секции РОЛМ, № 2 (5), 1927, 40—46, 1927 (Приложение к № 3 Мироведения за 1927 г.).

356. *Эйгенсон М.*, Об определении долгот объектов на небесных телах с законом вращения, аналогичным Солнцу, АЖ, 9, № 3—4, 232—237, 1932.

357. *Эйгенсон М.*, Предварительные результаты статистического изучения 2 800 солнечных протуберанцев, АЖ, 9, № 3—4, 218—231, 1932; 10, № 2, 42—50, 1933.

3. Дополнения к указателю (при корректуре)

358. *Баклунд О. А.*, Предварительный отчет о наблюдении полного затмения солнца 8/21 августа 1914 года в г. Риге, Известия Академии наук, 1914, № 13, 883—884.

359. *Балановский И. А.*, Отчет о наблюдении полного затмения Солнца 8/21 августа 1914 года в г. Риге, Известия Академии Наук, 1914, № 13, 893—894.

360. *Борисов В.*, Солнечное затмение 19 июня 1936 года, 28 стр. с рис., Азернешр, отдел массовой литературы, Баку, 1935, ц. 35 коп. (брошюра).

361. *Бредихин Ф. А.*, Публичные лекции астрономии, Природа, книга I, 1—101, 1873, (22 рис., 3 табл. в красках).

362. *Бухтеев*, Полное затмение солнца 27 июня (8 августа) 1896 г. наблюденное офицерами транспорта «Самоед» на Новой Земле, Известия Академии наук, 6, № 1, 17—26, 1897 (1 черт.).

363. *Вильев М. А.*, Отчет о наблюдениях, произведенных во время полного солнечного затмения 21 августа 1914 года в г. Риге, Известия Академии наук, 1914, № 13, 895—896.

364. *Вильев, М. А.*, Теория физических наблюдений светил, Известия РАО, 21, № 7, 167—206, 1915/16 (8 черт.).

365. *Витрам Ф. Ф.*, Предварительный отчет о визуальных наблюдениях солнечного затмения 8/21 августа 1914 года в г. Риге, Известия Академии наук, 1914, № 13, 889—892.

366. *Вязаницын В. П.*, Изучение солнечной короны помимо солнечных затмений, Природа, 25, № 2, 16—19, 1936 (3 рис.).

367. *Деллен В.*, О прохождениях Венеры через диск Солнца, 92 стр., 2 карты, Приложение к XVIII-му тому Записок Академии Наук, № 1, 1870.

368. *Донич Н. Н.*, Наблюдения прохождения Меркурия по

диску Солнца 14 (1) ноябрь 1907 г. в Ассуаие (Верхний Египет), Известия Академии наук, 1908, № 3, 233—235.

369. *Иванов А. А., проф.*, Солнечные пятна, Природа, I, № 4, столбцы 475—506, 1912 (14 рис.).

370. *Иоффе А. Ф., акад.*, Проблема новых источников энергии, СОРЕНА, 2, № 1, 23—30, 1932.

371. *Калантар Александр*, Влияние степени солиечного освещения на растительность, Труды VIII Съезда русских естествоиспытателей, т. I, отдел 9, 32—38, 1890.

372. *Калитин Н. Н., проф.*, Рассеянная радиация атмосферы, Природа, 25, № 4, 47—51, 1936 (4 рис.).

373. *Калитин Н. Н.*, Солнечная радиация при затмении Солнца 29 июня 1927 г. по наблюдениям в Мальмбергете, Журнал геофизики и метеорологии, 5, № 2, 113—126, 1928 (6 рис.).

374. *Козлов В. И.*, О распределении яркости в солнечной короне, АЖ, 13, № 4, 305—325, 1936 (44 черт., иа английском языке с резюме иа русском языке).

375. Комиссия по подготовке к солнечному затмению 1936 г. при Наркомпросе, Листовка без названия, 4 стр., 1934.

376. *Костинский С. К.*, Краткий отчет о наблюдениях полного солнечного затмеиия 8/21 августа 1914 года в г. Риге, Известия Академии наук, 1914, № 13, 885—888.

377. *Костинский С. К.*, О прохождеиии Меркурия по диску Солнца 7-го ноября 1914 г., Известия Академии наук, 1914, № 16, 1187—1188.

378. *Львов Н., доцент*, Наблюдения солнечной короны помимо затмений, Физика, химия, математика, техника в советской школе, 1931, № 6—7, 89—94 (2 рис.).

379. *Набоков М. Е., проф.*, Наблюдения солнечного затмения 19 июня 1936 г. в школах, 16 стр. (Центральный научно-исследовательский институт политехнического образования и Центральная станция юных натуралистов и опытников сельского хозяйства, Методический материал в помощь учителю, № 13) (брошюра).

380. *Натансон С. Г., проф.*, Солнечное затмение 19 июня 1936 года, 24 стр., 7 рис., Ленинградское областное изд-во, 1936, ц. 20 коп. (брошюра).

381. *Натансон С., проф.*, Солнечное затмение 19 июня 1936 года, Вестник знания, 1936, № 5, 322—327 (4 рис.).

382. *Перевощиков Д.*, Полное солнечное затмение в некоторых местах Сибири 1852 года декабря 11, по новому стилю, Ученые записки Академии иаук, I, выпуск 2, 202—209, 1852 (1 черт.).

383. *Орлов С. В.*, Определение отталкивательных сил солнца в хвостах комет по двум наблюденным положениям облачного образования, Труды Главной Российской астрофизической обсерватории, I, 231—236, 1922.

384. *Орлов С. В.*, Определение отталкивательных сил Солнца. Комета Галлея (1910 II), РАЖ, 2 № 3, 4—21, 1925 (3 черт.).

385. *Орлов С. В.*, Природа отталкивательных сил Солнца в хвостах комет, АЖ, 8, № 3—4, 199—205, 1931.

386. *Полак И.*, Солнечное затмение 19 июня 1936 г., Книга и пролетарская революция, 1936, № 7, 82—86, 1936 (3 рис.).

387. Полоса полного солнечного затмения 19 июня 1936 г., Карта, составленная по вычислениям, произведенным в Государственном астрофизическом институте под руководством А. А. Михайлова, 2 листа, Комиссия по исследованию Солнца при Академии Наук СССР (ц. 2 руб.).

388. *Прянишников В. И.*, Солнечное затмение 19 июня 1936 года, 42 стр., 11 рис., Изд. Облоно, Л., 1936, ц. 55 коп.

389. *Ретанов А. Н., проф.*, Как будет наблюдаться солнечное затмение 19 июня 1936 года в Красноярском крае, 20 стр., 3 рнс., (О-во изучения Красноярского края) ОГИЗ, Красноярское краевое гос. изд-во, 1936, бесплатно, (брошюра).

390. *Савич А. Н.*, О предварительном вычислении прохождений Венеры и Меркурия через диск Солнца, Записки Академии иаук, 39, книга I, 1—14.

391. *Савич А.*, Предварительное вычисление солнечных затмений и подобных явлений по способу Гаусса, 37 стр., 6 черт., Изд. Академии наук, 1875, (брошюра).

392. *Селиванов С.*, Наблюденне солнечной короны без затмений, Вестник знания, 1932, № 4, 173—175 (1 черт.).

393. Солнечное затмение 19 июня 1936 г., 4 стр., 3 рис. Комиссия по подготовке изучения солнечного затмения 1936 г. при Академии наук СССР, ц. 10 коп. (листовка).

394. Солнечное затмение 19 нюня 1936 года, Отв. редактор И. И. Кондратьев, Ученый коисультант А. А. Михайлов, Изд. Всесоюзного картографического треста ГУГСК НКВД, М., 1936, т. 1 р. 50 к. (плакат в красках).

395. *Субботина Н. М.*, Солнечные пятна 1901 г., Изв. РАО, 9, № 6—7, 86—89, 1902/03.

396. *Туранский В.*, Солнечное затмение 19 июня 1936 года в Дальневосточном крае, 8 стр., с 1 картой (Дальневосточный государственный университет, Астрономическая обсерватория), Дальневосточное краевое гос. изд-во, Хабаровск, 1936, (брошюра).

397. *Шорыгин С. А.*, Что читать о Солнце и о солнечном затмении 19 июня 1936 г., В помощь сельскому бнблиотекарю и читателю, 1936, № 1, 52—55 (1 рис.).

398. *Шорыгин С. А.*, Что читать по астрономии и о солнечном затмении, Указатель, Просмотрен проф. Р. В. Куницким, 20 стр., 1 рис., Научно-исследовательский институт библиотековедения и рекомендательной библиографии Наркомпроса РСФСР, М., 1936, ц. 35 коп. (брошюра).

399. *Шульгин В. М., проф.*, Искусственный солнечный свет, СОРЕНА, 1936, № 2, 19—30 (12 рис.).

400. *Ямпольскнй Б. А.*, Граница ультрафиолетовой части солнечного спектра в Воронеже по наблюдениям 1932 г., Журнал геофизики, 4, № 1, 46—55, 1934.